



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA

MECÁNICA ELÉCTRICA

“DISEÑO DE UN DESHIDRATADOR SOLAR PARA OPTIMIZAR EL
TIEMPO DE SECADO DE ALMENDRAS DE CACAO. ARAMANGO-
AMAZONAS, 2017”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA**

AUTOR

SAENSS CALLE CRUZ

ASESOR

MSC. ING. JAMES SKINNER CELADA PADILLA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS ELECTROMECAÓMICOS

CHICLAYO– PERÚ

AÑO 2017

PAGINA DEL JURADO

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Anibal Salazar Mendoza', written over a horizontal dotted line.

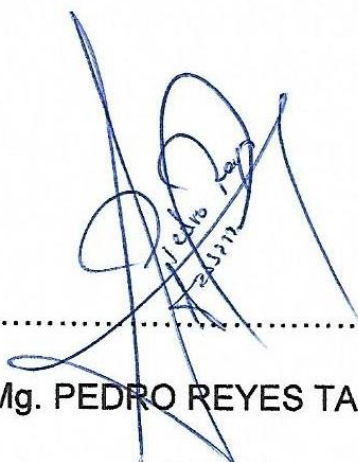
Dr. ANIBAL SALAZAR MENDOZA

PRESIDENTE

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'James Skinner Celada Padilla', written over a horizontal dotted line.

Mg. JAMES SKINNER CELADA PADILLA

SECRETARIO

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Pedro Reyes Tassara', written over a horizontal dotted line.

Mg. PEDRO REYES TASSARA

VOCAL

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por la vida y la salud que me brinda y por iluminarme día a día en mi camino, a mis queridos padres, Silverio Calle Julca y Reynelda Cruz Ascona, a mis hermanos Kenyi Calle Cruz, Mariela Calle Cruz y Gaby Calle Cruz, ya que por ellos y por mi constante esfuerzo estoy llegando a estas alturas de conseguir mis metas trazadas, y por el gran apoyo que me brindan constantemente para que así pueda concluir con bien esta formación profesional.

Saenss Calle Cruz

AGRADECIMIENTO

Le doy las gracias primeramente a Dios por darme la sabiduría de poder seguir luchando por mis sueños y metas, A mis queridos padres y hermanos, ya que gracias a ustedes yo ahora este por concluir esta formación profesional, por ese gran esfuerzo de mis padres de brindarme su apoyo día tras día, por sus buenos consejos, por sus enseñanzas y por mucho más, estoy muy agradecido por todo lo que hacen por mí, seré un gran orgullo para ustedes, y familia que aportaron en la etapa de mi formación profesional.

También quisiera agradecer a todos mis profesores por las enseñanzas que me brindaron durante mi formación profesional.

Y por último agradecer a todas mis amistades por brindarme su apoyo en los momentos más difíciles que tuve que pasar para poder concluir esta carrera profesional.

Saenss Calle Cruz

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo Saenss Calle Cruz con DNI N° 47543253, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y autentica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información de la Universidad Cesar Vallejo.

Chiclayo, Julio del 2017



Saenss Calle Cruz

DNI N° 47543253

PRESENTACIÓN

La presente tesis conlleva por el título “Diseño de un Deshidratador solar para optimizar el tiempo de secado de las almendras de cacao, florece de la necesidad de disminuir el tiempo de secado y mejorar la calidad de granos de cacao, con el fin de brindarle mejoras sociales y económicas al agricultor, siendo el diseño una ventaja a favor del cambio climático, ya que no se usaran combustibles fósiles para el secado de las almendras de cacao, optando por la energía solar, ya que mediante radiación solar se logra realizar el proceso de secado de cacao, con lo cual el diseño no contamina el ambiente de manera drástica, más bien aporta el conocimiento científico a la sociedad que muestra sobre la utilización de energía limpia con el uso de la radiación solar. Inicialmente se describirán las teorías científicas que conciernen a deshidratadores solares, también se ayudara de información de trabajos previos en el tema, desarrollándose mediante el método científico, realizando un estudio a fondo en el tema, con el fin de obtener el diseño adecuado del activo, Así mismo se aplicaran los conocimientos adquiridos durante la formación profesional, se demuestran las teorías, leyes y cálculos justificativos en el diseño del deshidratador solar, el sistema de deshidratación de secado de cacao contara con almacenamiento de energía térmica, mediante rocas negras, esta energía acumulada será utilizada para cumplir el proceso de secado cuando se haya ausentado la radiación solar.

también se complementará en el diseño del deshidratador solar con la utilización de paneles solares para el proceso de control eléctrico de sensores de temperatura, sensor de presión y sensor de humedad, los cuales serán de mucha importancia para que el proceso de secado de cacao se a concluya con un grado de humedad del 7% a 8%.

Por ultima parte se realizaron las respectivas evaluaciones económicas del diseño del deshidratador solar, se mostrarán en las conclusiones finales para cada objetivó, con el fin de esclarecer el diseño del deshidratador solar y garantizar el buen diseño del activo, el cual debe de cumplir con las exigencias, para cual fue diseñado en esta tesis.

ÍNDICE

Página del jurado.....	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Declaratoria de autenticidad.....	v
Presentación	vi
Índice.....	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xii
Nomenclatura	xv
Resumen	xxi
Abstract	xxii

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática	23
1.2. Trabajos Previos.....	26
1.3. Teorías relacionadas al tema	28
1.3.1. Como llega la energía solar al planeta tierra	28
1.3.2. Colector solar plano.....	41
1.3.3. Colector concentrador	46
1.3.4. Secador solar indirecto	47
1.3.5. Almacenamiento de energía solar térmica	48
1.3.6. Transformación de energía solar en energía eléctrica.....	49
1.3.7. Transferencia de calor	56
1.3.8. Ley cero de la termodinámica.....	60
1.3.9. Primera ley de la termodinámica	61
1.3.10. Segunda ley de la termodinámica.....	64
1.3.11. Psicrometría en el proceso de secado.....	65
1.3.12. Proceso de secado	67
1.3.13. Producción mundial del cacao	74
1.3.14. Exportación mundial del cacao	76
1.3.15. Producción del cacao en el Perú	77

1.3.16. Importancia del cacao en Amazonas.....	79
1.3.17. Etapa pos cosecha del cacao.....	82
1.4. Formulación del problema	85
1.5. Justificación del estudio.....	85
1.6. Hipótesis.....	86
1.7. Objetivos.....	87

II. MARCO METODOLOGICO

2.1. Diseño de la investigación.....	88
2.2. Variables y operacionalización	88
2.3. Población y muestra	89
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	90
2.5. Métodos de análisis de datos	90
2.6. Aspectos éticos	90

III. RESULTADOS

3.1. Resultados del cuestionario de encuestas	91
3.2. Determinación de la capacidad de procesamiento de secado.....	100
3.3. Cálculos de radiación solar disponible en Aramango	104
3.4. Cálculos de diseño y selección de materiales	110
3.4.1. Criterios para el diseño del deshidratador solar	110
3.4.2. Principio de funcionamiento del deshidratador solar	111
3.4.3. Diagrama de flujo del deshidratador solar	112
3.4.4. Datos de entrada para los cálculos de diseño	113
3.4.5. Determinación de las dimensiones de la nave de secado ...	114
3.4.6. Importe de agua a separar de los granos de cacao.....	115
3.4.7. Calores sumergidos en el proceso de secado	116
3.4.8. Cálculos de diseño del colector solar	120
3.4.9. Calculo de diseño de un colector solar de 1,5m x 4m	126
3.4.10. Análisis térmico del colector solar.....	129
3.4.11. Calculo del almacenamiento térmico en lecho de rocas....	135

3.4.12. Calculo de efecto de sombra	138
3.4.13. Calculo térmico del tubo de succión de aire caliente	139
3.4.14. Calculo del proceso de secado.....	142
3.4.15. Sistema de control del deshidratador solar.....	144
3.4.16. Calculo y selección de la unidad fotovoltaica	147
3.4.17. Selección de componentes del tablero de control general	151
3.5. Evaluación económica y financiera	154
3.5.1. Costos directos.....	154
3.5.2. Costos indirectos	157
3.5.3. Análisis de costos	158
IV. DISCUSIÓN	163
V. CONCLUSIONES	165
VI. RECOMENDACIONES	166
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	167
VIII. ANEXOS.....	171

Índice de tablas

Tabla 1. Día promedio para cada mes y valor “n” por mes	31
Tabla 2. Coeficientes máximos de transmisividad de la atmosfera	38
Tabla 3. Reflectividad típica de diferentes materiales	40
Tabla 4. Capacidad de almacenamiento de calor de los materiales	48
Tabla 5. Conductividad térmica de los materiales	62
Tabla 6. Emisividad de algunos materiales a 300°K	62
Tabla 7. Densidades y calores específicos de los materiales	64
Tabla 8. Características específicas del cacao	80
Tabla 9. Criterios de calidad del cacao	85
Tabla 10. Evolución del rendimiento promedio del cacao	89
Tabla 11. Resumen de calores incidentes en la cámara de secado	120
Tabla 12. Datos de ingreso para el cálculo de colector solar	126
Tabla 13. Energía total entregada por el banco de colectores solares.....	135
Tabla 14. Datos de entrada para el cálculo de acumulador térmico.....	135
Tabla 15. Energía útil total ofertada y demandada.....	142
Tabla 16. Cuadro de cargas principales del deshidratador solar	148
Tabla 17. Selección de los conductores eléctricos.....	152
Tabla 18. Resumen de cálculos de la unidad fotovoltaica.....	152
Tabla 19. Costos directos del diseño de deshidratador solar	154
Tabla 20. Costos directos de materiales eléctricos	156
Tabla 21. Costo de mano de obra directa	157
Tabla 22. Costo de diseño del deshidratador solar	157
Tabla 23. Resumen general de gastos de los costos directos	157

Tabla 24. Costos de mano de obra indirecta.....	158
Tabla 25. Resumen de gastos totales indirectos.....	158
Tabla 26. Análisis de costos totales de inversión del diseño.....	158
Tabla 27. Secado de almendras de cacao	159
Tabla 28. Costos actuales del secado de granos de cacao	159
Tabla 29. Ingresos por secado de almendras de cacao.....	160
Tabla 30. Costos por operación y mantenimiento	160
Tabla 31. Análisis del TIR y VAN	160
Tabla 32. Tasas de intereses iniciales	160
Tabla 33. Resumen del TIR y VAN	161
Tabla 34. Resumen de resultados de la relación costo beneficio.....	161
Tabla 35. Resultado del análisis del retorno de la inversión	161
Tabla 36. Características del sensor de Temperatura LM35.....	208
Tabla 37. Características del sensor de humedad	208
Tabla 38. Características del sensor de presión	208
Tabla 39. Radiación solar evaluada el día 01/05/2017.....	220
Tabla 40. Radiación solar evaluada el día 02/05/2017.....	221
Tabla 41. Radiación solar evaluada el día 03/02/2017.....	222
Tabla 42. Radiación solar evaluada el día 04/05/2017.....	223
Tabla 43. Radiación solar evaluada el día 05/05/2017.....	224
Tabla 44. Radiación solar evaluada el día 06/05/2017.....	225
Tabla 45. Evaluación de la temperatura en Aramango	226
Tabla 46. Evaluación mensual de la radiación solar	227
Tabla 47. Conductividad térmica de varios materiales	228

Índice de figuras

Figura 1. Estructura del sol.....	29
Figura 2. Declinación solar	32
Figura 3. Radiación solar sobre una superficie inclinada	39
Figura 4. Colector solar plano	41
Figura 5. Tipos de concentradores solares	46
Figura 6. Secador solar indirecto.....	47
Figura 7. Red cristalina de átomos de silicio	51
Figura 8. Celda fotovoltaica.....	55
Figura 9. Tipos de transferencia de calor	56
Figura 10. Sistemas de equilibrio térmico	60
Figura 11. Esquema de una carta psicrométrica	66
Figura 12. Humedad en granos de cacao	68
Figura 13. Velocidad de secado en granos	73
Figura 14. principales zonas de producción de cacao.....	74
Figura 15. Principales productores de cacao	75
Figura 16. Rendimiento mundial de granos de cacao	75
Figura 17. Principales exportadores mundiales de granos de cacao	76
Figura 18. Principales importadores mundiales de granos de cacao	76
Figura 19. Regiones principales de producción de cacao 2015.....	77
Figura 20. principales zonas productoras de cacao nacional.....	77
Figura 21. Rendimiento del cacao en (kg/ha) por región 2015.....	78
Figura 22. Estacionalidad de cosecha de almendras de cacao.....	78

Figura 23. Precio del cacao promedio anual en chacra 2015	78
Figura 24. Planta del cacao.....	81
Figura 25. Etapa pos cosecha del cacao en Aramango	82
Figura 26. Secado en áreas cementadas.....	83
Figura 27. Secado en tendales.....	83
Figura 28. Horno secador a gas	84
Figura 29. Resultado estadístico del tipo de secado	91
Figura 30. Resultado estadístico del tiempo de secado	92
Figura 31. Resultado estadístico que afecta el clima en el secado	93
Figura 32. Resultado estadístico del uso de maquinaria en el secado.....	94
Figura 33. Resultado estadístico de la ocupación de mano de obra	95
Figura 34. Resultado estadístico del manejo del cultivo de cacao	96
Figura 35. Resultado estadístico de las cualidades de calidad del cacao	97
Figura 36. Resultado estadístico de estimación del tiempo de secado	98
Figura 37. Mapa de colindaciones del distrito Aramango.....	100
Figura 38. Estadística del rendimiento mensual y quincenal del cacao	101
Figura 39. Irradiación solar disponible en Aramango	102
Figura 40. Perdidas térmicas en la cámara de secado	117
Figura 41. Resultado estadístico de la temperatura en el mes de marzo...	121
Figura 42. Carta psicrométrica de bajas temperaturas.....	123
Figura 43. Heliofania en el distrito de Aramango.....	125
Figura 44. Detalle del colector solar	128
Figura 45. Análisis térmico del colector solar	130
Figura 46. Efecto de sombra del banco de colectores solares	138

Figura 47. Detalle térmico del tubo de succión de aire caliente	139
Figura 48. Diagrama de bloques del circuito electrónico.....	144
Figura 49. Diagrama esquemático del monitoreo de secado en proteus ...	204
Figura 50. Circuito electrónico del monitoreo del proceso de secado	207
Figura 51. Características de selección del variador de velocidad.....	209
Figura 52. Características de selección del panel solar	210
Figura 53. Características de selección del regulador de carga.....	211
Figura 54. Características de selección del acumulador eléctrico.....	212
Figura 55. Características de selección del inversor de voltaje.....	213
Figura 56. Selección del interruptor termomagnético	214
Figura 57. Selección del guardamotor.....	215
Figura 58. Selección del contactor	216
Figura 59. Selección de componentes de mando y señalización.....	217
Figura 60. Características de selección de conductores eléctricos	218
Figura 61. Características de selección del ventilador inducido	219
Figura 62. Evaluación de la radiación solar Aramango 01/05/2017	220
Figura 63. Evaluación de la radiación solar Aramango 02/05/2017	221
Figura 64. Evaluación de la radiación solar Aramango 03/05/2017	222
Figura 65. Evaluación de la radiación solar Aramango 04/05/2017	223
Figura 66. Evaluación de la radiación solar Aramango 05/05/2017	224
Figura 67. Evaluación de la radiación solar Aramango 06/05/2017	225
Figura 68. Evaluación de la radiación solar estación Bagua	227
Figura 69. Tiempo de secado en función de la radiación s. mínima.....	230
Figura 70. Tiempo de secado en función de la radiación s. máxima.....	230

Nomenclatura

A_C	Área del colector (m^2)
A_{EC}	Área efectiva de la captación solar de los colectores.
$A_{c.p.l.}$	Área del colector de la parte lateral ($0,15m * 4m$)
A_b	Área de una bandeja (m)
A_{ro}	Área del lecho de rocas (m^2)
A_s	Área de la cámara de secado de granos de cacao (m^2)
C_1	Coeficiente de auto descarga diaria (0,002)
C_2	Coeficiente de pérdidas durante la carga y descarga de la batería (0,05)
C_3	Coeficiente de pérdidas en los convertidores de onda senoidal (0,2)
C_4	Pérdidas globales del cableado del sistema fotovoltaico (0,15)
D_a	Días de autonomía para la descarga de la batería
C_n	Capacidad nominal de la batería (Ah)
C_{Bat}	Capacidad de la batería
$C_{V.Roca}$	Capacidad volumétrica térmica de las rocas ($kJ/m^3°C$)
$C_{V.Agua}$	Capacidad volumétrica térmica del agua ($kJ/m^3°C$)
C_p	Calor específico del agua – roca (kg/m^3)
C_{pc}	Calor específico del cacao
C_{pa}	Calor específico del aire (1,0078 kJ/kg. °C)
$C_{v.ro}$	Capacidad volumétrica del lecho de rocas
d_{ro}	Diámetro de las rocas (0,03m)
D_a	Días de autonomía para la descarga de la batería
D_h	Diámetro hidráulico
E_c	Energía necesaria incidente sobre el colector para calentamiento del aire
E_{cn}	Potencia de irradiación de un cuerpo negro ($W/m^2 T^4$)
E_p	Emisividad de la placa absorbedoras
$E_{ais.}$	Espesor del aislamiento térmico (m)
ε_{c1}	Emitancia de la cubierta exterior (0,88)
F'	Factor de ganancias
F_R	Factor de remoción
f	Factor de fricción

F_{sb}	Autonomía de la batería (número de días ó horas).
G_O	Radiación en cualquier punto fuera de la atmosfera (W/m^2)
G_{on}	Constante de radiación para el día “n” (W/m^2)
G_{sc}	Constante solar ($1353 W/m^2$)
h	coeficiente de transferencia de calor por convección ($W/m^2 * K$).
h_c	Longitud del colector ($0,15m$)
h_e	Coeficiente de convección exterior ($W/m^2. ^\circ K$)
h_{c2}	Coeficiente de transferencia de calor de la placa de absorción y la cubierta interior. ($W/m^2. ^\circ K$)
h_{R1}	coeficiente de transferencia de calor por radiación interior y exterior
h_{R2}	Coeficiente de transferencia de calor por radiación de la placa absorbedora y la cubierta interna. ($W/m^2. ^\circ K$)
h_{fir}	Coeficiente de transferencia de calor entre interior y exterior por radiación
h_i	Coeficiente de convección del aire caliente
H	Radiación total incidente sobre una superficie (W/m^2)
\bar{H}	Radiación solar fuera de atmosfera en una superficie plana (W/m^2h)
\bar{H}_O	Radiación promedio mensual diaria sobre una superficie plana (W/m^2h)
H_O	Radiación fuera de la atmosfera diaria sobre una superficie plana (W/m^2)
H_{FG}	Calor latente de evaporización del agua (kJ/kg)
i, es el día más representativo del mes de mayo (tabla 1)	
I_n	Corriente nominal de trabajo (A)
I_r	Corriente del regulador de carga
I_p	Intensidad del panel solar
I_{mpp}	Corriente máxima que entrega el modulo fotovoltaico
I_{oh}	irradiación indicendente sobre una superficie horizontal en una hora
I_{sc}	Constante solar horaria ($1353 W/m^2$)
k_a	Conductividad térmica del aislante ($W/m^\circ k$)
K_T	Índice de nubosidad
$K_{ais.}$	Conductividad térmica de la madera ($0.094 W/m. ^\circ C$)
K_{roca}	Conductividad térmica de las rocas ($2,75 W/m. ^\circ C$)
$L_{roca.}$	Longitud del acumulador de secado (m)
m	masa (kg)

m_a	Masa de aire seco (kg)
m_v	Masa de vapor de agua (kg)
M_W	Masa de agua en los granos (kg)
M_S	Masa de los granos secos (kg)
$m_{p.al}$	Masa de placa absorbidora
m_{ro}	Masa del lecho de rocas
N_{Ba}	Numero de baterías
N_b	Número de bandejas
N	Número de horas de brillo solar
\bar{n}	Promedio mensual de Heliofania o horas de brillo solar $\left(\frac{Wh}{m^2 dia}\right)$
\bar{N}	Promedio mensual máximo horas de brillo solar $\left(\frac{Wh}{m^2 dia}\right)$
N_s	Número de células conectado en serie
N_p	Número de células en paralelo
N_U	Numero de Nusselt
P	Perímetro del colector
P_e	Perímetro
P_{CS}	es la potencia aproximada del colector solar (W)
$P_{alm.}$	Potencia almacenada en una batería (Wh)
P_{max}	Potencia máxima que entrega el modulo fotovoltaico
P_r	Numero de prandtl (0,7081)
P_I	Potencia del inversor
Q	Transferencia de calor por unidad de masa (kJ/kg)
Q	Calor (kJ)
Q_i	Calor inicial
Q_u	Calor útil, transferido al fluido (W)
Q_L	Calor latente
$Q_{m.a}$	caudal másico de aire requerido para el secado (kg/s)
Q_s	Calor sensible
$Q_{Prod.}$	Calor producido
Q_p	Calor perdido
Q_v	Caudal volumétrico

$Q_{s.ro}$	Calor sensible en el lecho de rocas
R	Constante de proporcionalidad del gas ($kJ/kg \cdot ^\circ K$)
R	Reflexión del vidrio
R_e	Numero de Reynolds
R_1	Resistencia a la conducción del calor de la madera ($^\circ C/w$)
R_2	Resistencia a la conducción del calor del aislamiento térmico ($^\circ C/w$)
R_3	Resistencia a la conducción del lecho de rocas ($^\circ C/w$)
R_4	Resistencia a la conducción entre la placa absorbadora
R_T	Resistencia equivalente
R_{hi}	Resistencia a la convección en interior del ducto
R_{SF}	Coeficiente global del sistema fotovoltaico
S	Potencia de absorción en la placa del colector (W/m^2)
T	Transmitancia del vidrio
T^4	Cuarta potencia de temperatura absoluta ($^\circ K$)
t_n	Tiempo de descarga de la batería (h)
T_{pm}	Temperatura media de la placa absorbente ($^\circ C$)
T_a	Temperatura del aire ambiente ($^\circ C$)
T_p	Temperatura promedio de la placa absorbadora ($333^\circ K$)
T_{c2}	Temperatura promedio de la cubierta interior ($316,5^\circ K$)
T_{c1}	Temperatura promedio de la cubierta exterior ($300^\circ K$)
T_t	Tiempo estimado duración del proceso de secado. ($24h = 86400seg.$)
ΔT	diferencia de temperatura ($^\circ C$)
ΔM_w	diferencial de masa de agua a evaporar (kg)
ΔW	Diferencial de masa de humedad absoluta ($kg_{agua}/kg_{aire seco}$)
G_i	Cantidad de irradiación global incidente sobre el colector
U_L	Coeficiente de pérdida de calor total del colector ($W/m^2 \cdot ^\circ K$)
U_t	Coeficiente de pérdidas en la parte superior del colector. ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
U_i	Conductancia inferior
U_s	Conductancia superior
V	Volumen específico (m^3/kg)
V_{ro}	Volumen del lecho de rocas
V_{mpp}	Voltaje máximo que entrega el modulo fotovoltaico

$V_{p.al}$	Volumen de la placa absorbedora del colector
W_a	Humedad absoluta del ambiente en la entrada
W_u	Humedad absoluta a la salida del proceso de secado
X_I	Humedad inicial de los granos
X_C	Humedad crítica
X_f	Humedad final del grano
X_e	Humedad de equilibrio del grano
X_c	Humedad crítica del grano

Letras griegas

α	Absorbancia
a	Absortancia del vidrio
a_c	Ancho del colector (1,5 m)
a y b	Coefficientes máximos de transmisividad.
d_{fa}	Distancia de flujo de aire
$e_{al.}$	Espesor de la placa absorbedora (0,002 m)
β	Angulo de incidencia solar
Bi	Numero de Biot
β_{opt}	Ángulo de inclinación óptima del módulo fotovoltaico
\mathcal{E}	Emisividad de la superficie
δ	Ángulo declinación solar (grados)
n	Numero de día del año
n	Eficiencia total del colector
n_i	Eficiencia del inversor de voltaje
n_t	Eficiencia térmica del colector
n_{opt}	Eficiencia óptica del colector
σ	Constante de Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 * \text{K}^4$)
ε_p	Emitancia de la cubierta interior (0,9)
ε_{c2}	Emitancia de la placa absorbedora (0,95)
ω_s	Angulo horario de salida del sol (grados)
Φ	Latitud (grados)

ϕ	Relación de humedad <i>kg de vapor agua/ Kg de aire seco</i>
θ_z	Ángulo zenith (grados)
a_s	Altura solar
γ_s	Azimut solar
θ_T	Angulo de incidencia de radiación directa
σ	Constante de Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} W/m^2 T^4$)
ρ	Densidad del agua – roca (kg/m^3)
ρ_{cacao}	Densidad de almendras de cacao ($250 kg/m^3$)
ρ_a	Densidad del aire ($1,18 kg/m^3$)
$\rho_{al.}$	Densidad del aluminio $2800 kg/m^3$
e_{cama}	Espesor de la cama de secado de granos de cacao (m)
τ	Transmitancia simple del vidrio
r	Coeficiente de reflexión de la interfaz vidrio-aire
u_a	Viscosidad dinámica ($1,826 \times 10^{-5} N.s/m^2$)

RESUMEN

La región Amazonas es un departamento productor de cacao por historia, ya que las primeras variedades de cacao se obtuvieron de dicha zona, donde la producción de cacao de Amazonas representa el 5% de la producción nacional, presentemente los productores de cacao del distrito de Aramango, realizan el proceso de secado de cacao en áreas cementadas, con lo cual esto afecta directamente a la calidad del grano, debido a que son afectados por roedores, animales casero, proliferación de bacterias y otros. Actualmente se demoran en secar los granos de cacao, un tiempo de 4 a 5 días de radiación solar efectiva, ya que de lo contrario el tiempo de secado aumenta considerablemente, con lo cual les generan muchas pérdidas económicas. Por tal motivo es que nace la idea de realizar el “Diseño de un deshidratador solar para optimizar el tiempo de secado”. De donde se empieza a dar una solución al problema actual de los cacaoteros de Aramango, para ello se realizó una encuesta a los productores de cacao de la zona, y unas guías de observación, con el fin de recolectar la mayor información posible, que ayude en los datos de ingreso para el diseño del activo. En el cual se decidió secar una masa de 250kg de almendras de cacao, del cual los cálculos de calores inmersos en el proceso de secado, nos dice que se necesita evaporar unos 141 litros de agua del producto, ya que el cacao fermentado ingresa a la cámara de secado con una humedad inicial de 60% y sale con una humedad el 7%-8%, donde el proceso de secado necesita una energía útil de 339,2 MJ, para que se pueda cumplir con el proceso de secado. Entonces para suplir la demanda energética, se realizaron los cálculos necesarios, de donde nos indica un área efectiva de captación de calor de 24m², del cual se divide en un arreglo de 4 colectores solares de placa plana de 1.5m x 4m, donde el banco de colectores solares proporciona una energía útil de 64 MJ. El diseño cuenta con acumuladores térmicos, donde se almacena 158 MJ de energía útil, del cual el tiempo de secado es de aproximadamente de 1.5 días como máximo para cumplir con el proceso de secado. la instrumentación del diseño del deshidratador solar, utiliza un sistema fotovoltaico, con fin de suplir la demanda energética de las cargas principales de consumo de energía eléctrica.

Palabras Claves: Deshidratador solar, Secado de almendras de cacao.

ABSTRACT

The Amazon region is a cocoa producing state by history, Since the first varieties of cocoa were obtained from said zone, Where the production of cocoa from Amazonas represents 5% of the national production, Cocoa producers in the district of Aramango currently perform the cocoa drying process in cemented áreas, With which this directly affects the quality of the grain, Because they are affected by rodents, homemade animals, bacteria proliferation and others. Currently the cocoa beans are drying out, a time of 4 to 5 days of effective solar radiation, Since otherwise the drying time increases considerably, which generates many economic losses. For this reason, the idea of "Designing a solar dehydrator to optimize drying time" is born. From chore it begins to give a solution to the current problem of the cocoa farmers of Aramango, For this purpose, a survey was carried out with cocoa producers in the área, and an observation guide, in order to collect as much information as possible, to assist in the input data for the design of the asset. In which it was decided to dry a 250kg mass of cocoa almonds, of which calculations of heat immersed in the drying process, tells us that it is necessary to evaporate about 141 liters of water of the product, Since the fermented cocoa enters the drying chamber with an initial humidity of 60% and leaves with a humidity of 7% -8%, Where the drying process requires a useful energy of 339.235 MJ, so that the drying process can be fulfilled. Then to meet the energy demand, the necessary calculations were made, which indicates an effective area of heat collection of 24m², which is divided into an errantemente of 4 solar collectors of flat plate of 1.5mx 4m, where the bank Solar collectors provides a usable energy of 64 MJ. The design has thermal accumulators, where it stores 158 MJ of useful energy, Of which the drying time is about 1.5 days maximum to comply with the drying process. The instrumentation of the design of the solar dehydrator, uses a photovoltaic system, in order to supply the energy demand of the main loads of electric energy consumption.

Key Words: Solar dehydrator, Dried cocoa almonds

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

1.1.1. Realidad problemática internacional

[...]. “Muchos de los productores de cacao tienen dificultades al momento de realizar el proceso de secado, ya que se aplican diferentes métodos, algunos son más eficientes que otros” (Miranda, 2011, p. 22).

A nivel mundial existe una gran demanda comercial de almendras de cacao, las cuales se necesita una buena calidad de secado de cacao, el mismo que tiene muchas utilidades en el mercado mundial, teniendo un buen proceso post cosecha se tendrán almendras de cacao de gran calidad, siendo un factor muy importante para la exportación de este producto, ya que juega un papel muy importante en el desarrollo comercial del cacao, tomando en cuenta una mayor capacitación tecnológica a los agricultores para el manejo de eficiente del proceso de secado del cacao. (Miranda, 2011, p. 23)

En el país ecuatoriano es una región de gran producción de cacao las cuales tienen grandes parcelas de sembríos de cacao, por el cual realizan el secado de cacao de diferentes métodos sin llegar a obtener un buen secado de cacao las cuales no garantizan la calidad del mismo, ya que es de vital importancia para la exportación del producto. Son métodos naturales y artificiales los que se aplican para el secado de cacao demorando bastante tiempo en el proceso de deshidratación de almendras de cacao, por otra parte, la utilización de combustibles fósiles para el secado de cacao a través de hornos o estufas, incrementando los costos de producción y la contaminación de las almendras por los gases de la combustión y daños causados al medio ambiente. Se necesitan de métodos más eficientes en tiempo y económicos para el proceso de secado que garantice la calidad del mismo. (Maureira, 2006, p. 27)

La gran mayoría de productores de cacao realizan el proceso de secado natural ya que es muy conocido por los agricultores, siendo este método una de las grandes desventajas al cambio climático, generando muchas pérdidas económicas y la baja calidad del almendras de cacao, otra de desventaja también es el tiempo que se necesita para realizar la deshidratación de los

granos de cacao, tomando tiempo de 6 a 7 días como tiempos básicos, teniendo en cuenta todos esos días el clima este soleado para tomar ese tiempo, pero si se generan cambios en el clima el proceso aún se tarda más tiempo para que se realice el secado de cacao, esto genera la proliferación de bacterias y hongos en los granos de cacao ya que se tienen que almacenar húmedos por ende hay un gran pérdida de producción y la baja calidad del mismo. En conclusión, se necesitan de método eficaces en el proceso de secado de los granos de cacao, se tendría que mejorar el tiempo y la calidad de producción de cacao para que así aumentar sus ganancias económicas de los agricultores. (Mora, 2015, p. 17)

1.1.2. Realidad problemática nacional

[...] “Muchos de los productores de cacao no obtienen un producto de gran calidad debido a que los métodos utilizados en la etapa pos cosecha del cacao no son los adecuados, se necesitan métodos más eficientes para el proceso de secado” (caballero, 2015, p. 12).

El Perú es un gran productor de cacao que tiene más del 60% de las diversidades de cacao del universo, con el paso de los años se ha incrementado la demanda de cacao a nivel nacional e internacional, las cuales muchas zonas cacaoteras del Perú realizan el proceso de secado natural, este proceso tiene muchas desventajas por el cual se exponen directamente a la proliferación de hongos y plagas, disminuyendo notablemente la calidad del cacao, ya que muchos de los agricultores peruanos no cuentan con los conocimiento tecnológicos para realizar el proceso de sacado artificial, con la cual se logra una buena calidad del cacao seco. Los productores de cacao de las regiones de Ica y Pisco tienen grandes problemas al de momento de realizar el proceso de secado de granos de cacao ya que ciertas zonas son muy húmedas con un 5% de humedad relativa a temperaturas en promedio de 20°C y esto dificulta aplicar el secado natural, llegando a demorar un tiempo entre 7 a 8 días para el proceso de secado de cacao, ocasionando la proliferación de hongos y bacterias, motivo por el cual es que se necesita de métodos eficientes para la zona. (Caballero, 2015, p. 7)

1.1.3. Realidad problemática local

En el departamento de Amazonas, se ha observado un elevado interés por la siembra del cacao, debido al incremento de la demanda en el mercado nacional, motivo por el cual los agricultores en su mayoría lo siembran en hectáreas limitadas debido a la falta de asesoría especializada, ya que no pueden contar con la tecnología moderna por ser zonas de bajo recursos económicos, el distrito de Aramango es un lugar de climas muy variables húmedos a una temperatura promedio de 25°C, las cuales demandan de un mayor tiempo para el secado de las almendras de cacao tardando en promedio de 7 a 8 días para el secado para obtener la cantidad necesaria de humedad (8%) para la comercialización.

Los agricultores aramanguinos actualmente realizan el proceso de secado de forma natural exponiendo directamente los granos de cacao al sol en grandes áreas cementadas y en tendales, las mismas que están expuestas a bacterias y plagas, afectando severamente la calidad de las almendras, teniendo como consecuencias muchas pérdidas económicas, y como consecuencia a esto se ve afectado en el costo de compra.

Debido a que la zona es de climas muy variados con constantes lluvias y días soleados, se necesitan métodos de secado de cacao que puedan adaptarse a estos climas, siendo el principal problema de no tener un buen secado con un grado de humedad adecuado, las mismas que son exquisitas para que sea un producto de muy buena calidad, ciertos parámetros son exigidos por los estándares de calidad que se deben de cumplir. En la gran mayoría de productores se ven afectados por el tiempo que tardan en deshidratarse las almendras de cacao, esto conlleva a muchas consecuencias tanto así que el grano se llega a pungear, los granos se ven afectados por los roedores, el grano cambia de color y sus propiedades químicas se alteran debido al secado inadecuado.

Muchos de los agricultores solventan sus gastos con la venta de las almendras de cacao, pero se ven muy afectados en el precio de venta, ya que los granos de cacao no reúnen las características esenciales para la venta. Por tal motivo es que también no realizan la medición de humedad necesaria para que sea un buen producto.

1.2. Trabajos previos

1.2.1. A nivel internacional

Jimbo y Arboleda (2016), en su tesis “Diseño mecánico y construcción de un secador de cacao (*Theobroma cacao* L.) Al vacío para medianos y grandes productores en la provincia de Manabí, en la Escuela Superior Politécnica del Litoral del Ecuador, para obtener el grado de Ingeniero Mecánico, cuyo objetivo fue de diseñar un deshidratador de cacao con el fin de reducir el tiempo de secado de las almendras de cacao, para incrementar la producción de los agricultores usando condiciones de vacío, concluyendo con que el secado por vacío es muy costoso con el cual solo es recomendable para grandes productores que deseen aumentar su producción.

Esta tesis muestra una nueva tecnología de secado por vacío con lo cual no es recomendable económicamente por la capacidad de producción del secador de este proyecto de investigación

Bérriz, Bergues y Griñán, (2013). Secadores solares directos: Una experiencia para su amplificación y divulgación en la zona oriental de Cuba Tecnología Química. UAEM Redalyc, 8.).

Durante 17 años en la región oriental de Cuba realizan prototipos de secadores solares por sus altos índices técnicos y económicos, ya que son contruidos de cubierta de vidrio y de polietileno, teniendo muchas aplicaciones de secados como el cacao, madera, plantas medicinales y frutas. Los investigadores tuvieron como objetivos del análisis energético y medioambiental, concluyendo con el desarrollo de los prototipos tecnológicos, aplicando los cálculos numéricos de ingeniería.

Está presente investigación científica aporta al proyecto en la aplicación de nuevas tecnologías de fabricación de secadores solares y la utilización de ciertos materiales económicos para el diseño, aportando un gran análisis energético al medio ambiente en los secadores solares

Tien, (2013). Analytical study and fabrication of a solar-based dryer for pepper-drying (agricultural product drying). National Library of Australia.

En malasia diseñaron un secador solar muy rentable ya que puede funcionar con climas muy variados, tiene como principal uso de secar los pimientos, siendo el objetivo principal de reducir la humedad de los pimientos a bajos costos, realizando un secador del tipo chimenea que funciona por diferencia de presiones atmosféricas, concluyendo con el diseño del secador solar, se hicieron experimentos en climas variables, obteniendo resultados muy positivos, logrando aumentar el rendimiento del secado con una calidad aceptable por los comerciantes.

Esta investigación aporta al proyecto en una nueva forma de realizar la deshidratación de frutas y vegetales de manera más eficiente sin tener que contar con tanta radiación solar.

1.2.2. A nivel nacional

Caballero (2015), en su tesis “Diseño una secadora de cacao para almacenaje con capacidad de 2 Tn/DIA”, en la Pontificia Universidad Católica del Perú, con el fin de adquirir el grado de Ingeniero Mecánico, cuyos objetivos fueron Conservar cacao almacenado sin perjudicar la calidad, evitando la contaminación de las almendras por agentes patógenos como los hongos y la proliferación de microorganismos, concluyendo con los objetivos de mantener la buena calidad de cacao, logrando secar las 2T/día mediante la transferencia de calor por convección, controlando las velocidades de secado y temperatura.

Esta investigación aporta al proyecto de investigación con el conocimiento los cálculos de transferencia de calor, temperatura y velocidad de secado.

Escalante (2015), en su tesis “Desarrollo de un prototipo de tostador de granos de cacao de 6Kg/hora que trabaje mediante energía solar agrupada”, desarrollado en Pontificia Universidad Católica del Perú, con fin de optar el título de Ingeniero Mecánico, teniendo como objetivo Principal transformar la energía solar como fuente de calor para el secado de las almendras del cacao, para las

zonas rural del Perú que carece de energía eléctrica, concluyendo secar almendras de cacao por medio de energía solar concentrada en 30 minutos. La presente tesis aporta conocimientos pragmáticos, el uso que se le puede dar a la energía solar aplicando tecnologías modernas con concentradores solares, las cuales se pueden alcanzar temperaturas mayores de los 100°C. y esto nos brinda una idea de utilizar dicha tecnología para el proceso de secado de cacao.

1.2.3. A nivel local

No se encontraron antecedentes relacionados al tema en el entorno local

1.3. Teorías relacionadas al tema

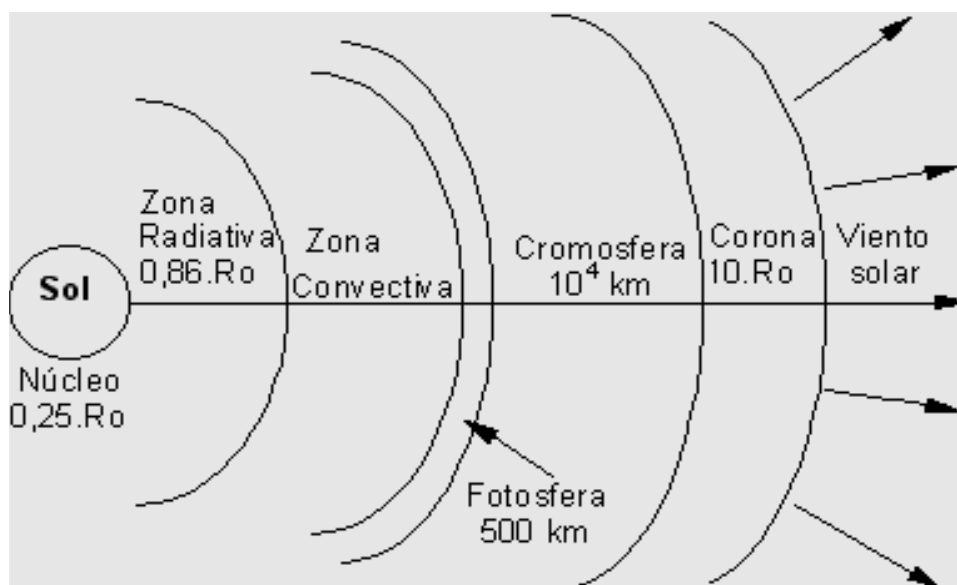
1.3.1. ¿Cómo llega la energía solar al planeta tierra?

La energía solar extraterrestre se desplaza en forma de radiación electromagnética, una cierta parte de esta energía a traviesa la atmosfera, una parte de esta energía es absorbida por la tierra, la mayor parte de energía que brinda Sol se pierde en el espacio mediante la reflexión de la tierra, por el cual es que solo una cierta cantidad de energía es aprovechada con fines de consumo energético. (ITC, 2008, P. 50)

La energía solar es una fuente de energía renovable, es limpia con respecto a otras energías, es un recurso inagotable, se puede usar directamente o indirecta, se requiere de otros mecanismos para convertir la energía solar en otras formas de energía. La energía solar es el origen de otras formas de energía ya que esta aporta muchos beneficios al planeta, induciendo en el movimiento del agua, el viento, y el crecimiento de las plantas. La energía solar se puede utilizar de formas diferentes entre ellas tenemos la energía solar térmica, transformación en calor y transformación en electricidad. (Duffie y Beckam 2013, p. 65)

La capa de cubre el área descriptiva del sol, es más conocida como la fotosfera, la cual tiene un espesor de unos 500 km, esto representa la parte visible del Sol, sobre esta cubierta se desarrolló la cromosfera que tiene un espesor de 10000 km, la cual es mucho mayor que la fotosfera, siendo la capa siguiente como la corona. (Grossi, 2002, p. 10)

Figura 1



Estructura del sol

1.3.1.1. Potencial del sol

El potencial del sol que absorbe el planeta tierra es de $173 \times 10^{12}\text{ kw}$, con una intensidad de energía de $15 \times 10^{17}\text{ kwh}$ por año, al traspasar la radiación solar la atmosfera el 53% de la energía es reflejada y el 47% es absorbida por el oxígeno, ozono, nitrógeno, dióxido de carbono, vapor de agua, polvo y las nubes. La distancia del cielo a la tierra es de aproximadamente 150 millones de kilómetros, reduciéndose al final hasta llegar a la tierra con un promedio de energía solar de $3 \times 10^{17}\text{ kwh}$ al año, es similar a 4000 veces el gasto energético del mundo en un año ($7 \times 10^{13}\text{ kwh/año}$), con lo cual esto nos indica que es formidable el potencial del sol. (Duffie y Beckam 2013, p. 5)

1.3.1.2. Constante solar

La constante solar es la combinación del diámetro solar, distancia de la tierra al sol y la temperatura del sol, estos tres parámetros determinan la cantidad de flujo luminoso incidente sobre la tierra, se denomina flujo porque es una cantidad que traspasa una superficie, por unidad de área unidad de tiempo. Mucho se ha dialogado sobre que, si el solo emite una cantidad de energía constante, o que cambia con el tiempo. La constante solar se refiere a la intensidad de radiación solar incidente sobre la atmosfera terrestre, la cual esta radiación es constante, a esto se le conoce como la constante solar. En conclusión, la constante solar es un flujo de anergia que incide

instantáneamente sobre una superficie. El valor de la constante solar ha ido cambiando con el paso de los años, con el valor actual de lectura es $G_{sc} = 1353 \text{ w/m}^2$. A menos que sea demostrado científicamente algún cambio en la constante solar. (Duffie y Beckam 2013, p. 27)

1.3.1.3. Radiación solar

la cantidad de radiación solar que recibe el planeta tierra es de 63450720 w/m^2 , llegando esta energía en todas las direcciones de la atmosfera terrestre, si suponemos un radio promedio de 149.6 millones de km, podríamos establecer cuánto es la radiación solar absorbida fuera de atmosfera en un punto, sobre una plano perpendicular a los rayos solares, esto es lo que se denomina como constante solar 1353 w/m^2 , esta constante solar varia en el tiempo, cambia durante un 3% en un año, esto es a consecuencia de la elipticidad de la órbita terrestre, solo 1/3 de cantidad de energía solar llega a la tierra y un 70% cae sobre el mar, y aun así es bastante energía con respecto al consumo energético mundial. (Duffie y Beckam 2013, p. 43)

1.3.1.3.1. Radiación directa

“Esta radiación, es la que capta directamente del sol, sin que se desvíe por la atmósfera” (Duffie y Beckman 2013, p. 66).

1.3.1.3.2. Radiación difusa

“Esta radiación, es la que se refleja de las nubes, debido a los cambios de dirección que sufre la reflexión y difusión de la atmosfera” (Duffie y Beckman 2013, p. 66).

1.3.1.3.3. Radiación albedo

“Esta radiación, es una combinación de la radiación directa y difusa que se capta en el suelo u otras superficies cercanas a ella” (Duffie y Beckman 2013, p. 66).

1.3.1.4. Radiación térmica

La radiación térmica es una forma de emisión y transmisión de energía que depende principalmente de las cualidades de temperaturas de la superficie emisora. Aquí la transferencia de energía térmica se transfiere mediante calor, por convección electromagnética y por convección de la conducción. La radiación térmica es una forma de onda electromagnética que se desplaza a la velocidad de luz ($C=300000 \text{ km/s}$ en el vacío). (Duffie y Beckman 2013, p. 75)

1.3.1.5. Radiación normal extraterrestre

La radiación incidente sobre la tierra está ligada a condiciones físicas y geométricas del mismo Sol, se dice que la órbita de la tierra que gira alrededor del sol no es circular, sino más bien cuasielíptica, esto es debido a que existe una excentricidad en la órbita, y esto ocasiona que el 4 de enero la tierra se encuentre más cerca del Sol, y para el 1 de julio la tierra se encuentre a una distancia máxima de lejanía del Sol, y por ende al estar la tierra muy retirada del sol la intensidad de radiación solar es mínima. Para encontrar la variación de flujo de energía en cualquier mes del año, se describe una ecuación que mide a intensidad de radiación solar sobre una superficie plana. (Duffie y Beckman 2013, p. 31)

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360 * n}{365} \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

G_{on} Radiación extraterrestre en punto fuera de la atmosfera (W/m^2)

G_{sc} Constante solar (W/m^2)

n Número del día del año

Para detallar las determinaciones del día promedio por cada mes, se detalla la siguiente tabla realizada por Klein (1976). Donde "i" viene a ser el año a estudiar, y "n" el valor que adquiere por cada mes según se presente el caso de estudio.

Tabla 1

Día promedio para cada mes y valor de "n" por meses

Mes	"n" para "i" día del mes	Para el Día promedio del mes		
		fecha	n, Día del año	δ , declinación solar
Enero	i	17	17	-20.9
Febrero	31+i	16	47	-13
Marzo	59+i	16	75	-2.4
Abril	90+i	15	105	9.4
Mayo	120+i	15	135	18.8
Junio	151+i	11	162	23.1
Julio	181+i	17	198	21.2
Agosto	212+i	16	228	13.5
Continúa				→

Según Cooper (citado en Duffie y Beckman, 2013) destaca por la ecuación de declinación solar y la podemos hallar mediante:

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

δ Ángulo declinación solar (grados)

n Numero de día del año

1.3.1.7. Definiciones

β Beta es el ángulo que forma con el plano horizontal de la superficie, si en el intervalo de $0 \leq \beta \leq 90^\circ$, esto quiere decir que está en una extensión que ve hacia arriba. Esto quiere decir que una superficie horizontal va a ser $\beta = 0$, mientras que una superficie vertical beta sería $\beta = 90^\circ$

γ Gamma es un ángulo acimutal de la superficie, viene a ser el ángulo que integran la normal con el meridiano específico. Entonces se dice que cuando $\gamma = 0$ pertenece al sur.

Si el ángulo que forman está en dirección al oeste se le consideran valores positivos y si están en sentido contrario que se suponen como negativos.

1.3.1.8. Angulo horario

ω Omega es el ángulo horario del desplazamiento angular del sol, ya sea al este o al oeste del meridiano local. Ya que la tierra está en constante movimiento sobre su eje orbital, la velocidad angular con la que se desplaza es de 15° por hora o 360° en 24 horas. Entonces decimos que por definiciones astronómicas el medio día solar $\omega = 0$, cuando sean las 12 horas, se dice que las horas solares por la mañana son negativas y por la tarde son positivas, quiere decir que si $\omega = -30^\circ$ en el reloj civil sería las 10 horas y cuando $\omega = 60^\circ$ serán las 16 horas. Debido a los movimientos de traslación del sol, es primavera cuando se desplaza al norte y otoño cuando lo hace hacia el sur. (Valeria, 2013, p. 6)

1.3.1.9. Angulo horario de salida del sol

$$\omega_s = \arccos(-\tan \delta * \tan \phi)$$
Ecuación 3

Donde:

ω_s Angulo horario de salida del sol (grados)

ϕ Latitud (grados)

δ Ángulo declinación solar (grados)

1.3.1.10. Número de horas de brillo solar

$$N = \frac{2\omega_s}{15}$$
Ecuación 4

Donde:

N Número de horas de brillo solar

ω_s Ángulo horario de salida del sol (grados)

1.3.1.11. Duración del día solar

$$T_s = \frac{24h}{\pi} * \omega_s$$
Ecuación 5

1.3.1.12. Angulo cenital (θ_z)

Es el ángulo que está formado por el trayecto de la Tierra – Sol con la vertical local del elemento absorbedor de radiación solar, el ángulo cenital varia $\pi/2$ en el momento de la salida y en la puesta del sol, esto efecto generalmente solo ocurre en superficies planas. (Valeria, 2013, p. 7)

$$\cos \theta_z = (\cos \delta * \cos \phi * \cos \omega) + (\sin \delta * \sin \phi)$$
Ecuación 6

Donde:

θ_z Ángulo zenith (grados)

δ Ángulo declinación solar (grados)

ϕ Latitud (grados)

Principalmente el ángulo cenital depende de la hora del día, la ubicación del observador (latitud) y el día del año (n), mediante la declinación solar.

1.3.1.13. Altura solar

“La cota solar cambia entre cero y un valor máximo desde el amanecer hasta el atardecer, en una superficie plana. Es complemento del ángulo cenital” (Valeria, 2013, p. 10).

$$\text{Sen } a_s = \text{Cos } \theta_z \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

a_s Altura solar

1.3.1.14. Azimut solar

“El azimut se refiere al lanzamiento angular de la proyección de la línea Tierra – Sol, sobre una superficie horizontal del observador, está en función del ángulo horario, de la declinación y la altura solar” (Valeria, 2013, p. 6).

Tomando en cuenta que:

$$\gamma_s = \text{signo}(\omega) \left| \text{arc cos} \left(\frac{\text{Cos} \theta_z * \text{Sen} \phi - \text{sen} \delta}{\text{sen} \theta_z * \text{Cos} \phi} \right) \right| \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

γ_s Azimut solar

Para determinar el valor del signo en la ecuación se define por:

$$\text{signo}(x) = \begin{cases} 1 & \text{para } x > 0 \\ 0 & \text{para } x = 0 \\ -1 & \text{para } x < 0. \end{cases}$$

1.3.1.15. Radiación solar fuera de la atmosfera sobre una superficie horizontal

Para determinar la radiación solar fuera de la atmosfera se requiere de un análisis más cuidadoso, ya que al hacerlo inadecuadamente se verán reflejados resultados erróneos para el diseño.

$$G_O = G_{sc} \left[1 + 0,033 \text{Cos} \left(\frac{360 * n}{365} \right) \right] \text{Cos} \theta_z \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

G_O Radiación en cualquier punto fuera de la atmosfera (W/m^2)

G_{sc} Constante solar ($1353 W/m^2$)

n Día del año (ver tabla 1)

θ_z Ángulo zenith (grados)

De la ecuación anterior se concluye que, para encontrar la radiación sobre una superficie horizontal, se tiene que tomar los datos de ángulos solares desde que empieza el brillo solar hasta la puesta del sol, con esto determinamos la cantidad de radiación que se puede obtener mediante el transcurso del día.

Ecuación 10

$$H_O = \left(\frac{24}{\pi}\right) G_{sc} \left\{ \left[1 + 0,33 \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right) \right] \left[\cos \Phi * \cos \delta * \text{Sen} w_s + \left(\frac{2\pi}{360}\right) \text{sen} \Phi * \text{Sen} \delta \right] \right\}$$

Donde:

H_O Radiación fuera de la atmosfera diaria sobre una superficie plana (W/m^2)

G_{sc} Constante solar ($1353 W/m^2$)

1.3.1.16. Angulo de incidencia para superficies planas

Sé dice que la tierra gira en su eje a lo largo del día con respecto al sol, entonces al girar la tierra varia el ángulo de incidencia, este varia con respecto a la hora y la fecha, además la inclinación de este debe de estar en relación a la horizontal. (Valeria, 2013, p. 7)

superficies horizontales $\beta = 0^\circ$ y $\theta = \Phi$

superficies verticales $\beta = 90^\circ$

$$\cos \theta_T = \cos (\phi - \beta) \cos \delta * \cos w + \text{sen}(\phi + \beta) \text{Sen} \delta \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

θ_T Angulo de incidencia de radiación directa

1.3.1.17. Índice de nubosidad

El índice de nubosidad, está en función del cielo despejado y la cantidad de nubación que pueda suceder en el transcurso del día. Principalmente está dado por la cantidad de radiación media que incide en el colector y la cantidad de irradiación extraterrestre.

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

K_T Relación entre daría sobre y radiación extraterrestre diario

H Radiación total incidente sobre una superficie (W/m^2)

H_0 Radiación extraterrestre inidente sobre un plano (W/m^2)

1.3.1.18. Radiación solar media incidente en una superficie horizontal

Las fuentes de datos estadísticos de radiación son la mejor fuente confiable en la cual se puede extraer la radiación solar media, a falta de estas fuentes, es necesario estimar el total de radiación que incide sobre una superficie horizontal, se puede utilizar relaciones empíricas para hallar las horas de sol y nubosidad. (Duffie y Beckman 2013, p. 86)

Angstrom definió la ecuación para calcular la radiación diaria promedio mensual, pero fue modificada por Page (1964), ya que la ecuación tenía unas deficiencias, porque, solo se evaluaba la radiación diaria en cielo despejado, esto causaba dificultades al momento de interpretarlos. Ya con la modificación de Page la radiación fuera de la atmosfera queda definido por la ecuación siguiente. (Duffie y Beckman 2013, p. 86)

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} = a + b \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

\bar{H} Radiación solar fuera de atmosfera en una superficie plana (W/m^2h)

\bar{H}_0 Radiación promedio mensual diaria sobre una superficie plana (W/m^2h)

a y b Coeficientes máximos de transmisividad. (ver tabla 2)

\bar{n} Promedio mensual de Heliofania o horas de brillo solar $\left(\frac{Wh}{m^2 dia}\right)$

\bar{N} Promedio mensual máximo horas de brillo solar $\left(\frac{Wh}{m^2 dia}\right)$

De las ecuaciones se puede determinar la radiación incidente sobre una superficie horizontal, tanto diaria como horaria.

$$\bar{H} = K_T * \bar{H}_O \quad \text{ó} \quad \bar{H} = \bar{H}_O \left(a + b * \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \right) \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

H Radiación total incidente sobre una superficie (W/m^2)

K_T Índice de nubosidad

a y b Coeficientes máximos de transmisividad

Tabla 2

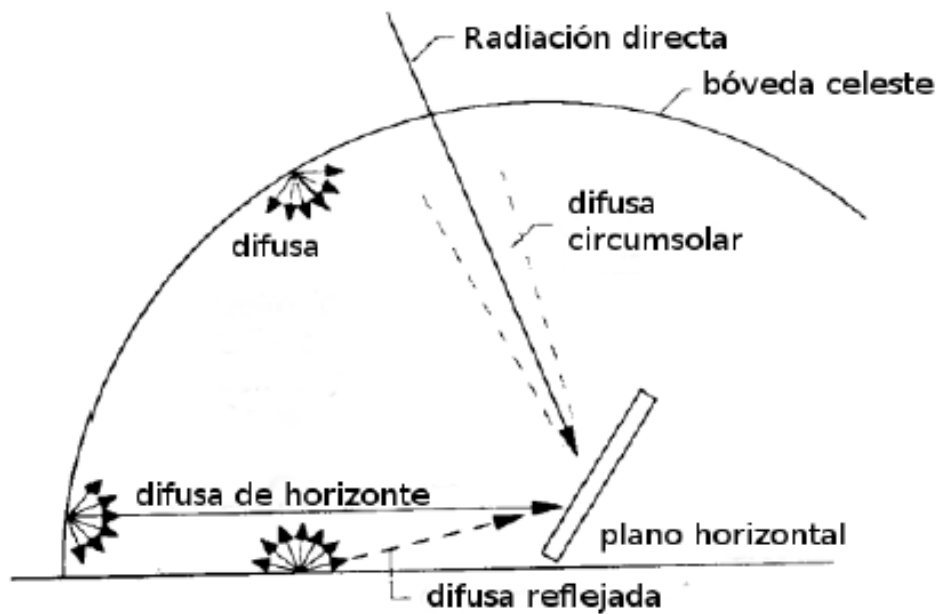
Coeficientes máximos de transmisividad de la atmosfera (Senamhi)

Estación meteorológica	α	b	Numero de datos	Error (%)
San Ramón SM	0.301	0.377	2742	6.6
El Porvenir	0.278	0.32	1613	7
Bellavista	0.355	0.341	714	5.9

1.3.1.19. Radiación solar incidente sobre una superficie inclinada

Debido que los colectores solares principalmente absorben energía solar con una cierta inclinación, es necesario calcular ciertos criterios para superficies inclinadas, ya que lo descrito anteriormente no es suficiente para el diseño de colectores solares. Por tal motivo es de mucho interés hallar los cálculos necesarios para el diseño de la radiación incidente sobre los colectores solares en superficies inclinadas. (Valeria, 2013, p. 38)

Figura 3



Radiación solar sobre una superficie inclinada

La radiación incidente sobre una superficie inclinada, está formada por radiación difusa del cielo, difusa del horizonte, difusa circumsolar y la radiación reflejada.

1.3.1.20. Angulo de incidencia de una superficie inclinada

“De la ecuación del ángulo cenital en una superficie horizontal se determina el ángulo de incidencia de una superficie inclinada” (Valeria, 2013, p. 40).

$$\cos \theta = \cos(\beta - |\phi|) \cos \delta * \cos \omega + \sin(\beta - |\phi|) \sin \delta \quad \text{Ecuación 15}$$

1.3.1.21. Angulo horario solar para una superficie inclinada

“El ángulo horario de una superficie inclinada nunca puede ser mayor que el ángulo de una superficie horizontal” (Valeria, 2013, p. 43).

$$\omega'_s = \arccos[-\tan \phi * \tan \delta] \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

ϕ Latitud

δ Declinación solar

Tabla 3

Reflectividad típica de diferentes materiales, adaptado de Hunn y Calafell, 1977, citado en (Valeria, 2013, p. 47).

Superficie	ρ_g
Nieve fresca	0.75
Arena blanca (pintura clara, bloques claros, eccetra	0.7
Paredes claras (ladrillo o pintura oscura	0.6
Paredes oscuras	0.27
Pedregullo	0.2
Asfalto, bitumen	0.13
Pasto verde	0.26
Pasto seco	0.2
Hojas secas	0.3
Cemento armado antiguo	0.22
Pintura negra	0.1
Cultivos maduros	0.26
Caminos de tierra	0.04
Suelo arcilloso	0.14
Superficies de agua (ángulo de incidencia grande)	0.07

1.3.1.22. Radiación extraterrestre incidente en una superficie inclinada

Tomando en cuenta que principalmente los colectores solares están inclinados, con el fin del mayor aprovechamiento energético.

Ecuación 17

$$I_{By}^d = \frac{24}{\pi} * I_{sc} * F_n(\omega'_s * \sin \delta * \sin(\beta - \phi) + \cos \delta * \cos(\beta - \phi) * \sin \omega'_s$$

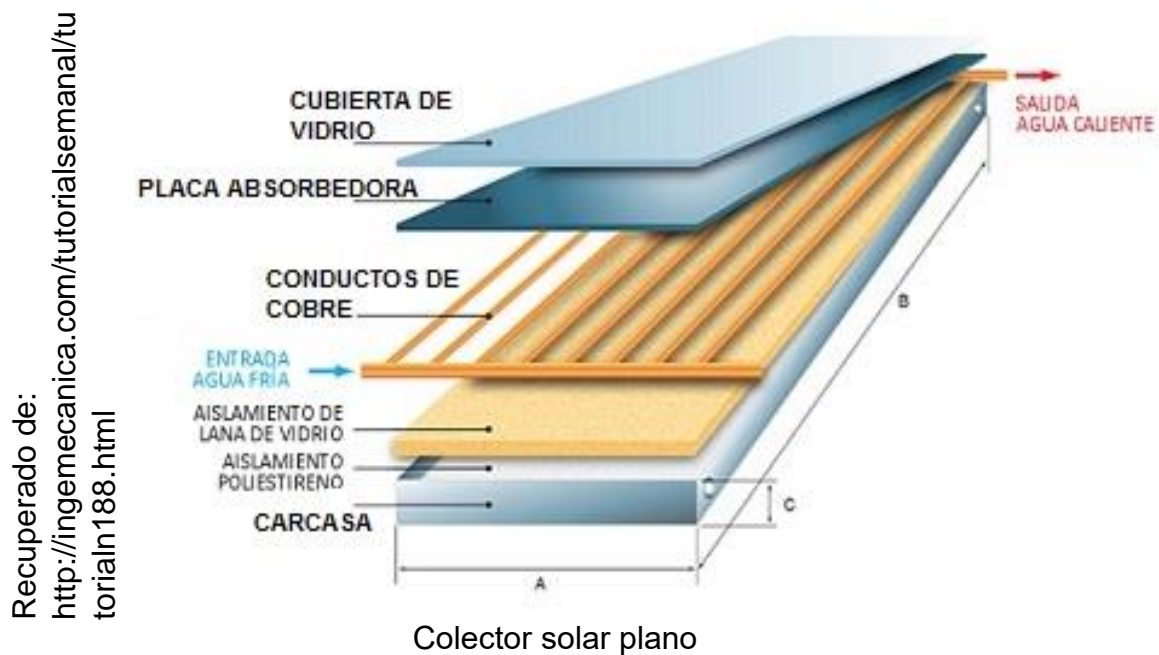
Donde:

I_{sc} Constante solar horaria (1353 W/m²)

1.3.2. Colector solar plano

Estos colectores solares captan la radiación solar mediante unos vidrios transparente y una placa absorbadora, que puede ser metálica, comúnmente se utiliza el aluminio ya que tiene mejor conductividad térmica y además no es muy costosa, se pintan de color negro mate para que tenga mejor captación de radiación difusa y directa, esta energía solar después de ser absorbida es convertida en energía térmica. Los laterales se forran con una capa de fibra de vidrio con el fin de evitar pérdidas térmicas, u otro material aislante térmico, el aire se calienta en la cámara de absorción de radiación de calor a temperaturas hasta los 100°C, posteriormente se transfiere por varios tubos de metal, estos tubos están puestos verticalmente con un cierto ángulo de inclinación, por el cual el aire caliente circula sin dificultades por diferencias de densidades, estos Colectores alcanzar rendimientos de 40% - 60%. (Duffie y Beckman 2013, p. 258)

Figura 4



Los colectores planos absorben tanto radiación directa como difusa, por lo general estos colectores no requiere de un sistema de seguimiento de radiación solar automático, ya que son capaces de absorber todo tipo de radiación que proviene de la atmosfera con tan solo unos grados de inclinación, necesitan poco mantenimiento, su diseño es más simple que los concentradores solares. (Duffie y Beckman 2013, p. 258)

Para el diseño de cada colector solar depende fundamentalmente del tipo de aplicación que se le va a dar, las cualidades que se necesitan para realizar los cálculos de diseño y funcionamiento, son el diámetro nominal de los tubos, longitud, tipo de tubo, el número de tubos, la distancia de separación de cada tubo, el tipo de material de los tubos, el espesor, el acabado de placa de absorción, número de capas transparentes, tipo de fluido de trabajo, material aislante térmico y el espesor del mismo, flujo másico del tipo de fluido, orientación e inclinación del colector, velocidad del viento, condiciones ambientales, temperatura del aire y la intensidad de radiación solar. (Duffie y Beckman 2013, p. 258)

1.3.2.1. Tipos de colectores solares planos

Principalmente los colectores solares se clasifican por el tipo de fluido a calentar, sea agua o aire, los colectores solares que calientan agua manejan flujos pequeños, mientras que los colectores que calientan aire u otro gas, operan flujos mucho más grandes, se puede decir que cuando se trabaja con un gas como el aire los tubos que forman parte de la placa de absorción, mientras que cuando se trabaja con el agua los tubos van adheridos a la placa de absorción de calor. Existen dos tipos de colectores, los colectores de placas absorbedoras para calentamiento de agua y las placas absorbedoras para calentamiento de aire.

1.3.2.2. Ecuación básica de equilibrio energético del colector solar

“El rendimiento de un colector solar se desarrolla por una ecuación que indica la incidencia de distribución de energía, está relacionada con las pérdidas térmicas, pérdidas ópticas y la ganancia de energía útil” (Duffie y Beckman 2013, p. 259).

$$Q_u = A_c [S - U_L(T_{pm} - T_a)] \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

Q_u Ganancia útil ($J/S = W$)

A_c Área efectiva del colector (m^2)

S Radiación solar absorbida por unidad de área (W/m^2)

U_L	Coeficiente de pérdida de calor total del colector ($W/m^2 \text{ } ^\circ K$)
T_{pm}	Temperatura media de la placa absorbente ($^\circ C$)
T_a	Temperatura del aire ambiente ($^\circ C$)

Por muchos cálculos de energía solar que se realicen, sólo se requieren dos cantidades o dos parámetros muy importantes en el diseño de colectores, la absorción solar y la Emitancia de onda larga o infrarroja, usualmente denominada absorción y Emitancia.

Mediante la siguiente ecuación se calcula el funcionamiento del colector en estado estable.

$$Q_{abs} = Q_u + Q_L + du/dt \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

Q_{abs} Calor absorbido por el colector (W)

Q_u Calor útil que se transfiere al fluido (W)

Q_L Pérdidas en el colector hacia los alrededores (W)

du/dt Rapidez del cambio de energía interna, la cual esta almacenada en el colector, comúnmente este valor es muy pequeño y por lo general se desprecia para el diseño.

Definiendo la ecuación 19, para encontrar la cantidad de pérdidas de energía en el colector:

$$Q_L = U_L * A_c(T_{pm} - T_a) \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

Q_L Pérdidas en el colector hacia los alrededores (W)

U_L Coeficiente de pérdida de calor total del colector ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

A_c Área efectiva del colector (m^2)

T_{pm} Temperatura media de la placa de absorción ($^\circ C$)

T_a Temperatura del aire ambiente ($^\circ C$)

1.3.2.3. Rendimiento del colector solar

Las fugas de aire en los colectores afectan en el rendimiento del colector, ya que no transforman toda la energía solar en energía térmica, esto aqueja directamente al producto que se está deshidratando, por lo general los colectores solares funcionan por debajo de la presión atmosférica. También afectan al rendimiento las pérdidas térmicas en las paredes laterales del colector, por eso es que es muy importante forrarlo con una capa de fibra de vidrio, todas las conexiones de tubería deben de ser bien herméticas para evitar pérdidas de aire caliente. (Duffie y Beckman 2013, p. 331)

$$n_c = \frac{Q_u}{S * A_c} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

- n_c Eficiencia del colector
- Q_u Calor útil (W)
- S Radiación solar (W/m^2)
- A_c Área efectiva del colector (m^2)

1.3.2.4. Coeficiente total de pérdidas de calor

Para encontrar el coeficiente total de pérdidas en el colector se necesitan de un análisis más profundo, debido a que se tienen que evaluar muchos factores, como el análisis de las cubiertas si es que son opacas, la radiación solar incidente en la placa, temperatura de absorción, flujo de calor de las cubiertas y el fondo del colector. En conclusión, el coeficiente total de pérdidas de calor es la suma total de las pérdidas unitarias.

$$U_L = U_t + U_b + U_e$$

Donde:

Ecuación 22

- U_L Coeficiente total de pérdidas de calor. ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
- U_t Coeficiente de pérdidas por transferencia de calor en la parte superior del colector. ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

U_b y U_e son coeficientes de pérdida de calor por conducción en el fondo y los laterales del colector. ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

Donde U_t Coeficiente de pérdidas por transferencia de calor en la parte superior del colector, es igual a la suma del inverso de las resistencias.

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3} \quad \text{Ecuación 23}$$

U_b y U_e son coeficientes de pérdida de calor por conducción en el fondo y los laterales del colector, a esto se suma como una cuarta resistencia R_4 . Este coeficiente está relacionado con el espesor del aislamiento térmico y las dimensiones del colector.

$$(U_b + U_e) = \frac{l}{R_4} \quad \text{Ecuación 24}$$

De donde se deduce que:

$$U_b = \frac{k_a}{l} \text{ y } U_e = \frac{k_a * H * P}{l * A_c} \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

k_a Conductividad térmica del aislante ($W/m^\circ k$)

l y l' Es el espesor del aislante (m)

P Perímetro del colector

H Altura del colector (m)

Otra forma de calcular " U_t " (Coeficiente de pérdidas por transferencia de calor en la parte superior del colector) a cualquier Angulo se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{U_t}{U_{t,45^\circ}} = 1 - (\alpha - 45)(0.00259 - 0.00144 * E_p) \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

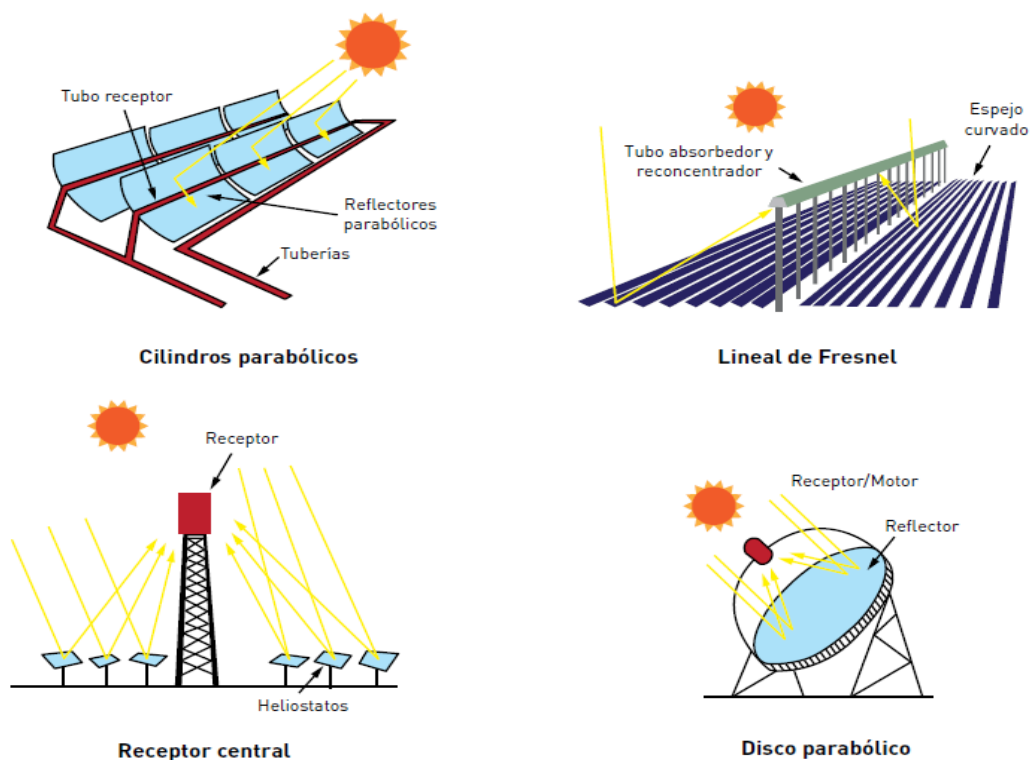
α Angulo de inclinación del colector

E_p Emisividad de la placa absorbedoras

1.3.3. Colector solar concentrador

Estos tipos de colectores son capaces de concentrar la radiación solar en un punto focal, alcanzan altísimas temperaturas de 500°C – 2000°C , con una eficiencia de 30% - 50%, estos concentradores solares son aptos de obtener esas temperaturas por su alta reflectividad de sus materiales, como el papel de aluminio, el espejo, acero inoxidable pulido y otros materiales reflectivos, la radiación solar directa que incide sobre el concentrador es reflejada a un solo puntos o a un tubo horizontal, la cual capta esa concentración de radiación y lo transforma en energía térmica, existen dos tipos de concentradores solares, del tipo parabólico y el de tipo cilíndrico, ambos cumplen funciones iguales, solo se diferencia por la forma de concentración solar y la transformación de energía térmica, tienen desventajas con respecto a los colectores planos debido a sus alta reflectividad de sus materiales, las cuales siempre tienen que estar bien limpias y pulidas, comúnmente estos concentradores se utiliza donde se necesitan altas temperaturas o esencialmente donde no se pueden utilizar los colectores planos. (Duffie y Beckman, 2013, p. 344)

Figura 5

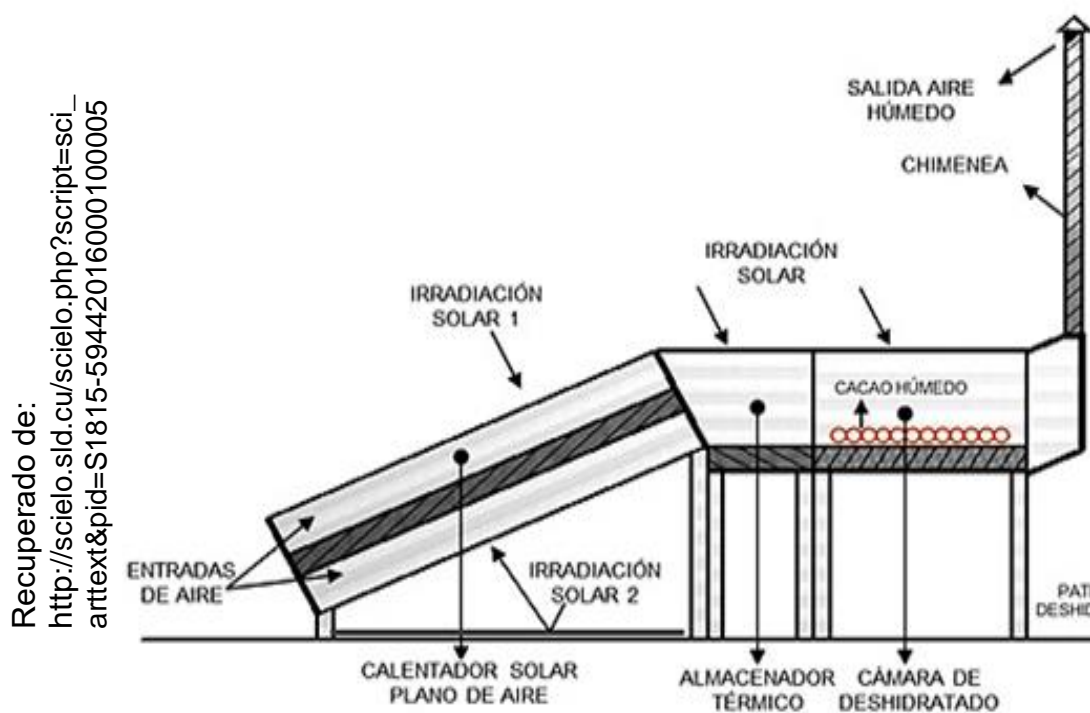


Tipos de Concentradores solares

1.3.4. Secador solar indirecto

Es el proceso más utilizado para la conservación de la calidad de los productos agrícolas, la finalidad del secado es disminuir la humedad de la masa sólida, con el fin de evitar la descomposición del mismo y la proliferación de bacterias, actualmente algunas empresas comercializadoras de cacao realizan el secado por medio combustibles fósiles, lo cual es muy contaminante para el medio ambiente, afectando directamente su calidad y su aroma, razón de efectuar el proceso de secado mediante energía solar, hay dos formas de realizar el proceso de secado solar, mediante circulación de aire caliente de forma natural y la otra de forma forzada, necesitando de la utilización de un ventilador, el diseño de los secadores solares se realizan bajo el mismo principio que los colectores planos, solo que en los secadores solares está constituido por una cámara de secado de color negro y una tapa de vidrio transparente, capaz de transformar la radiación solar en energía térmica. El tiempo de secado y la velocidad dependerá del tipo de secador ya sea de forma natural o forzado. (Shyam, 2013, p. 18)

Figura 06



Secador solar indirecto

1.3.5. Almacenamiento de energía solar térmica

A causa de que la energía solar depende del cambio climático, se necesita de procesos eficaces que puedan almacenar esta energía térmica, hoy en día existen varios métodos para captar el exceso de energía que se produce durante el día, para después ser utilizado durante la ausencia de radiación solar, los almacenamientos de la energía térmica se basan principalmente en la capacidad térmica (calor) de varios materiales. Una de las sustancias que pueden almacenar grandes capacidades de poder calorífico por unidad de volumen es el agua, ya que se emplea como medio para almacenar la energía en forma de calor, se acumulan en tanques especiales que evitan las pérdidas térmicas, también existen otros tipos de almacenamientos térmicos que son muy usados para transferir energía calorífica, siendo las rocas negras o grava son grandes acumuladores de esta energía. Cuando se necesitan calentar aire que están a una temperatura ambiente, las rocas negras tienen grandes ventajas porque el intercambio energético se establece debido a la extensa superficie que exponen los colectores a la radiación solar. (Shyam, 2013, p. 24)

Otro de los métodos de almacenamiento térmico, se producen mediante el calor latente, llamado comúnmente como cambio de fase de cristalización de algunas sustancias, las sustancias más comunes que cumplen estos procesos son los hidratos de sales inorgánicas, mayormente las que tienen bajo punto de fusión, entre ellas tenemos a las sales eutécticas, el sulfato de sodio $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (denominada como la Sal de Glauber), esta sustancia absorbe gran cantidad de calor cuando se funde a bajas temperatura (pasa de estado sólido a líquido), al cambiar de fase libera esa misma cantidad de calor que cuando se vuelve a solidificar. (Duffie y Beckman, 2013, p. 395)

Tabla 4

Capacidad de almacenamiento de calor de algunos materiales comunes:

Material	Densidad (kg/m ³)	Capacidad calorífica (kcal/m ³ °C)
Agua	1000	1000
Concreto	2254	518
Piedra	2737	574
Ladrillo	2254	450
Aire	1.2	0.29

1.3.5.1. Almacenamiento de energía térmica mediante rocas o piedras

Las piedras o rocas son también buenos materiales para almacenar energía térmica, ya que el proceso de transferencia de energía se realiza mediante unos lechos de piedras o rocas, ya que, al pasar el aire por las rocas, este intercambia energía por medio de convección, la cual puede ser de forma natural o forzada. El almacenamiento de energía mediante rocas o piedras tiene ciertas ventajas con respecto a los sistemas de almacenamiento con agua, esto es debido a que los costos son mucho menores, pero en capacidad calorífica no son tan altos en comparación con el agua, además no sufren de corrosión y una de sus desventajas es que no tiene una buena conductividad térmica. (ITESO, 1995, p. 81)

Para detallar la capacidad volumétrica térmica de los materiales se pueden hallar mediante la ecuación:

$$C_{V.Roca} = \rho * C_p \quad \text{Ecuación 27}$$

$$C_{V.Agua} = \rho * C_p \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

$C_{V.Roca}$ Capacidad volumétrica térmica de las rocas ($kJ/m^3^{\circ}C$)

$C_{V.Agua}$ Capacidad volumétrica térmica del agua ($kJ/m^3^{\circ}C$)

ρ Densidad del agua – roca (kg/m^3)

C_p Calor específico del agua – roca (kg/m^3)

1.3.6. Transformación de la energía solar en energía eléctrica

1.3.6.1. Teoría de bandas de energía

Según estudios de mecánica cuántica, exclusivamente pueden preexistir electrones en determinadas etapas de energía de un átomo aislado, esto quiere decir que a medida que se disminuye la longitud interatómica empiezan a observarse la interacción mutua entre átomos, con el fin de formarse un sistema electrónico único. Se dice que un sólido contiene una cantidad elevada de átomos, cuando el nivel de energía que forman las bandas son continua, a

causa de esto las bandas son llenadas en forma ascendente por los electrones del átomo de un sólido. Se denomina banda valencia cuando está completamente ocupada por la mayor energía proveniente de una banda (electrones ligados a los átomos) y la otra banda que bien puede estar llena o vacía se le denomina como banda de conducción (electrones liberados del átomo), si bien estas bandas se encuentran distanciada por otra banda de energías, la cual es llamada como la banda prohibida debido a que pertenece estados no permitidos. Principalmente las cualidades eléctricas de un sólido dependen un enfoque coherente entre bandas, a consecuencia de estas propiedades la banda prohibida logra clasificar a los sólidos semiconductores, sólidos conductores y aislantes. (Perpiñán, 2015, p.43)

1.3.6.2. Célula fotovoltaica

Son átomos formado por un núcleo del cual está constituido por neutrones, protones y otros electrones situados en el orbital de su alrededor. Los átomos de diversos elementos se diferencian por la cantidad de partículas conformadas internamente y por el número de electrones, a esta configuración es denominada con el orbital de valencia, se describe por el comportamiento de los átomos y por la forma en que estos combinan con otros, con el fin de formar estructuras más y menos complejas. La disposición más constante de un átomo es aquella en que el orbital de valencia contiene ocho electrones, especialmente este tipo de cualidad es lo que contienen los gases nobles, se da porque sus átomos no se mezclan entre sí. (Perpiñán, 2015, p.44)

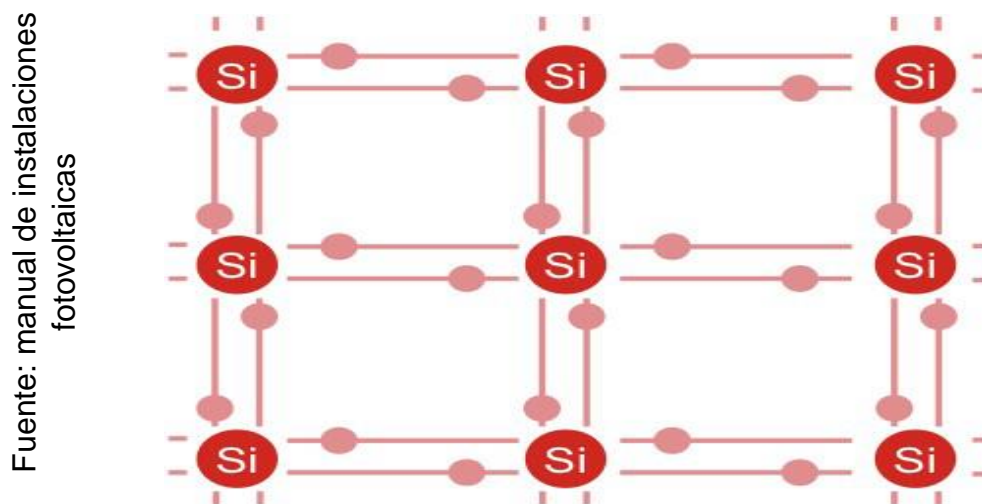
1.3.6.3. Distribución de los materiales semiconductores

En el orbital de valencia del átomo de silicio se encuentran cuatro electrones, de las cuales forman una red cristalina con otros átomos de silicio, los mismo que colaboran con cada uno de sus cuatro electrones con los demás átomos de su alrededor, constituyendo fuertes enlaces que mantienen unida la estructura atómica, al intercambiar sus electrones con los demás átomos cercanos, este se considera como un gas noble. Al agregar una energía externa a la red cristalina, ocasiona que algunos electrones se liberen de la estructura, entonces el electrón es capaz de moverse por la red cristalina macroscópicamente, a este movimiento del electrón es lo que se conoce como conductividad intrínseca. El electrón al soltarse de la estructura deja un vacío con el cual se comporta como si fuera una carga positiva. Entonces la

conductividad intrínseca por sí sola no es capaz de brindar energía eléctrica, ya que se tienen que introducir impurezas en la red cristalina.

Con fin de que las impurezas puedan brindar un electrón al átomo de silicio, a este proceso de introducción de impurezas es lo que se llama como dopado. Si se agrega fosforo como impureza a la red, nos hallamos con un dopado de tipo “N”, y si introducimos boro se tiene un dopado del tipo “P”. a consecuencia de este método se encuentra más electrones en la región de tipo “N”, mientras que en el de tipo “p” se encuentra un exceso de huecos. (Perpiñán, 2015, p.45)

Figura 7



Red cristalina de átomos de silicio

1.3.6.4. Efecto fotoeléctrico

Es cuando se exponen la unión PN a la luz del sol, ocasionando que los electrones de la red cristalina absorban la radiación solar mediante los fotones, esto hace que los campos eléctricos de la unión de electrones migren hacia una región “N”, y los huecos a la región “P”.

1.3.6.5. Tipos de células fotovoltaicas

Entre las células más conocidas y comerciales encontramos a las células de silicio policristalino, células de silicio monocristalino, células de capa fina y otras tecnologías.

1.3.6.6. Cálculos de módulos fotovoltaicos

$$P_{max} = V_{mpp} * I_{mpp}$$

Ecuación 29

Donde:

P_{max} Potencia máxima que entrega el modulo fotovoltaico
 V_{mpp} Voltaje máximo que entrega el modulo fotovoltaico
 I_{mpp} Corriente máxima que entrega el modulo fotovoltaico

El factor de forma es más conocido como el factor de calidad de la célula, para el caso de células solares del tipo cristalinos el factor de forma está situado entre 0.7-0.85 y para células amorfas entre 0.5 – 0.7.

$$FF = \frac{V_{mpp} * I_{mpp}}{V_{oc} * I_{sc}}$$

Ecuación 30

El rendimiento de un celular solar está directamente relacionado con la cantidad de irradiación incidente sobre este.

$$n = \frac{P_{max}}{G_a * A_c} = \frac{FF * V_{oc} * I_{sc}}{G_a * A_c}$$

Ecuación 31

Potencia total de toda la instalación

$$P_T = N_s * N_p * P_c$$

Ecuación 32

Donde:

N_s número de células conectado en serie

N_p número de células en paralelo

Temperatura de trabajo de la célula, se sabe que al incrementar la temperatura de una celda fotovoltaica su rendimiento disminuye.

$$T_c = T_a + G_a \left(\frac{TONC - 20}{800} \right)$$

Ecuación 33

Donde:

T_{ONC} Temperatura nominal de trabajo, normalmente es (25°C)

T_a Temperatura ambiente (°C)

En el caso de que no se cuente con el dato de la temperatura nominal de trabajo, se estimara 45°C ó 46°C, temperatura de trabajo.

1.3.6.7. Cálculos de los acumuladores eléctricos (Batería)

Es de carácter muy importante, saber dimensionar la capacidad de almacenamiento energía, necesarias para la demanda energética. Se sabe que la capacidad de una batería no es una magnitud constante, ya que depende de la temperatura la corriente de descarga.

$$C_n = I_n * t_n \quad P_{alm.} = V * I \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde:

C_n Capacidad nominal de la batería (Ah)

I_n Corriente nominal de trabajo (A)

t_n Tiempo de descarga de la batería (h)

$P_{alm.}$ Potencia almacenada en una batería (Wh)

Como detalle general las capacidades de las baterías se deben de elegirse de modo que la capacidad de la batería este entre tres y ocho veces la energía consumida por la carga durante el funcionamiento.

$$C_B = \frac{L_D * F_{sb}}{PD_{max}} \quad \text{Ecuación 35}$$

PD_{max} Profundidad máxima de descarga

F_{sb} Autonomía de la batería (número de días ó horas).

L_D Consumo medio diario (Wh)

1.3.6.8. Efecto fotoeléctrico

EL regulador de carga es un elemento muy importante porque protege al acumulador de energía eléctrica, la función principal es de proteger a la batería durante el proceso de carga, y controlar la cantidad de descarga de la batería. El regulador de tensión también nos sirve para obtener información sobre el proceso de carga. (Perpiñán, 2015, p. 37)

1.3.6.9. Efecto fotoeléctrico

En lo posible se tiene que instalar el acumulador tan cerca cómo se pueda, con el fin de disminuir la caída de tensión. Principalmente la sección del conductor debe de ser, lo suficiente para que la caída de tensión sea menor a 1.5%.

1.3.6.10. Inclinação optima del panel solar

Para encontrar el ángulo de inclinación óptimo de un módulo fotovoltaico se necesita estimar los cálculos de irradiación global incidente, con diferentes ángulos de inclinación horaria de irradiación sobre una superficie inclinada. Este proceso se tiene que realizar con el fin de obtener la máxima producción anual de un sistema fotovoltaico. (Perpiñán, 2015, p. 37)

Lor (citado en Perpiñán, 2015), destaca que para encontrar la inclinación optima del módulo fotovoltaico, se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\beta_{opt} = 0,69 + 3,7 * |\varnothing| \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde:

β_{opt} Ángulo de inclinación optima del módulo fotovoltaico

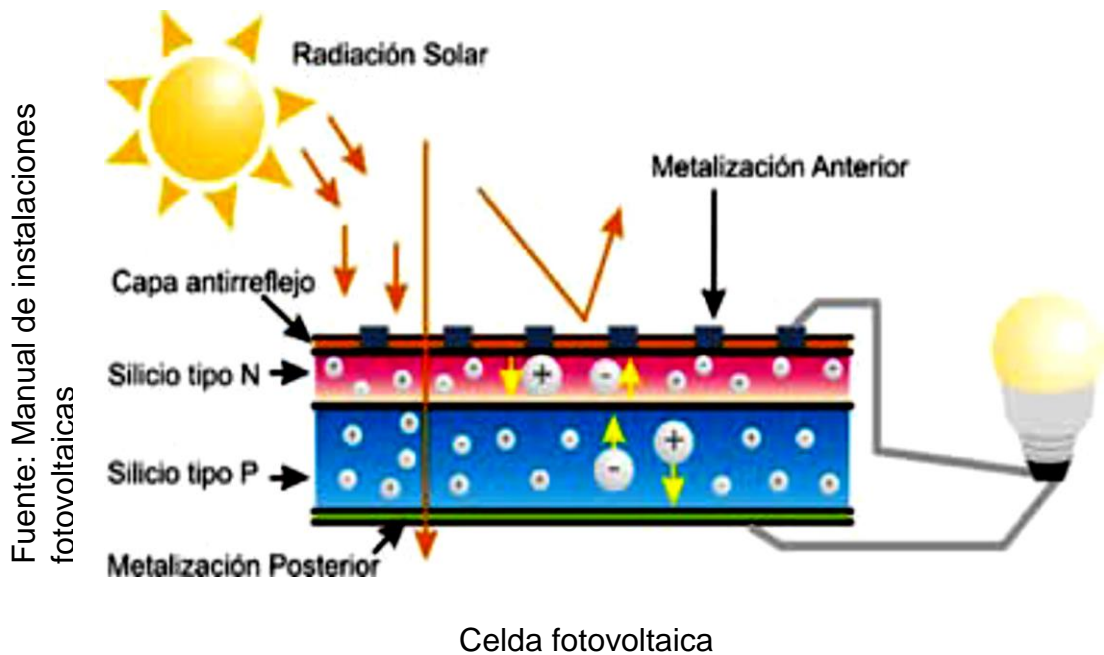
\varnothing Latitud del lugar en donde se ubicará el panel solar

1.3.6.11. Efecto fotoeléctrico

La energía fotovoltaica se obtiene directamente de la energía solar, la que a su vez se transforma en electricidad, esto sucede gracias al efecto fotovoltaico de las celdas solares, son confeccionadas mediante diminutas partes de silicio y otros elementos, generalmente utiliza este material porque es barato y abunda en el planeta, siendo un factor muy importante en los costos de producción

(US\$10/watio), una celda solar de un metro cuadrado expuesta directamente a la radiación solar de 1000 w/m^2 , será capaz de producir 100 watios de potencia. Para dimensionar una instalación fotovoltaica se deben de conocer parámetros importantes como su potencia nominal, intensidad nominal, tensión nominal, corriente de cortocircuito, tensión de cortocircuito abierto y su clase de protección. (Perpiñán, 2015, p. 48)

Figura 8



1.3.6.12. Generador fotovoltaico

es el elemento que se encarga de transformar la radiación solar en energía eléctrica (DC), mediante celdas fotovoltaicas.

1.3.6.13. Inversor de tensión

es un agente que se encarga de convertir la corriente continua que sale de los módulos fotovoltaicos en corriente alterna.

1.3.6.14. Regulador de carga

es el encargado de proteger la batería en la etapa de carga y descarga, con el fin de brindar un correcto funcionamiento.

1.3.6.15. Baterías o acumuladores eléctricos

son encargados de almacenar el exceso de energía eléctrica durante las horas de radiación solar, para posteriormente ser utilizados cuando se ausente la radiación solar directa y difusa.

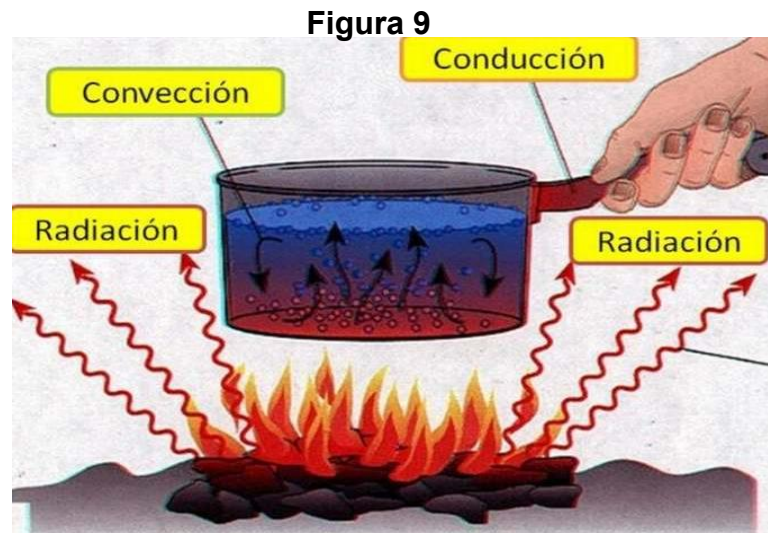
1.3.7. Transferencia de calor

“Es la transferencia de energía desde un punto hacia otro, esto se origina debido a las diferencias de temperaturas de los cuerpos, al existir diferencias de temperaturas de dos o más cuerpo se logra producir la transferencia de calor”. (Cengel y Boles, 2015, p. 60).

1.3.7.1. ¿Cómo se transfiere?

“Se transfiere a través de los mismos cuerpos pasando de una capa a otra, fluidos y gases, entre los más destacados podemos encontrar la transferencia de calor por conducción, convección y radiación”. (Cengel y Boles, 2015, p. 61).

Recuperado de:
<http://respuestas.tips/cuales-son-los-tipos-de-transferencia-del-calor/>



Tipos de transferencia de calor

1.3.7.2. Transferencia de energía por calor

“En termodinámica se realiza la transferencia de energía desde un sistema hacia otro mediante dos formas distintas como el trabajo y el calor, la interacción de energía calórica solo se puede dar cuando hay diferencias de temperaturas” (Cengel y Boles, 2015, p. 70).

$$q = \frac{Q}{m} \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde:

- q Transferencia de calor por unidad de masa (kJ/kg)
- Q calor (kJ)
- m masa (kg)

1.3.7.3. Transferencia de calor por conducción

Se realiza la transferencia de energía mediante partículas más energéticas de una sustancia hacia otras menos energéticas, como resultado de sus interacciones. La conducción de energía se da en líquidos, gases y sólidos, transfiriéndose en los sólidos a través de las vibraciones de las moléculas de una red y mediante electrones libres, en los líquidos la conducción se debe a los choques de las moléculas en movimiento aleatorio. (Cengel y Boles, 2015, p. 92)

1.3.7.3.1. Ley de Fourier

conocida por la ecuación de conducción de calor, indica que la tasa de conducción de calor en una dirección es proporcional a la gradiente de temperatura en esa misma dirección. El calor es conducido en la dirección de temperatura descendiente, y el gradiente de temperatura se vuelve negativo cuando la temperatura disminuye con creciente. (Cengel y Boles, 2015, p. 93)

$$Q_{cond} = K_t A \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

Ecuación 38

Donde:

- Q Tasa de conducción de calor (W)
- K_t constante conductividad térmica (W/m. °C)
- A es el área o la sección transversal (m²)
- ΔT diferencia de temperatura (°C)
- ΔX espesor de la capa (m)

1.3.7.4. Transferencia de calor por convección

Se llama transferencia de calor por convección, al intercambio de energía térmica de un cuerpo hacia otro, mediante fluidos y gases ya sean fríos o calientes, entonces decimos que la transferencia de calor es una superposición de las energías, debido a que las moléculas al estar en movimiento aleatorio intercambian energía, se pueden realizar la transferencia de calor mediante los métodos de convección natural y convección forzada. (Cengel y Boles, 2015, p. 93)

1.3.7.4.1. Ley de enfriamiento de NEWTON

Se basa en la rapidez de refrigeración de un cuerpo cuando se expone el mismo a temperatura ambiente.

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad \text{Ecuación 39}$$

Donde:

q'' Flujo de calor (W/m^2).

h coeficiente de transferencia de calor por convección ($W/m^2 * K$).

T_s temperatura de superficie. ($^{\circ}C$)

T_∞ temperatura del fluido. ($^{\circ}C$)

1.3.7.5. Transferencia de calor por radiación

Es la transferencia de energía que emiten los cuerpos calientes a través de ondas electromagnéticas, debido a los cambios electrónicos de las moléculas y átomos, siendo este tipo de transferencia de energía la más rápida que las otras por que se realiza a la velocidad de la luz, de este modo es como llega la energía del sol hacia la tierra. Existen otras formas de radiación electromagnética que no están relacionadas con la temperatura pero que, si la emiten los rayos X, microondas, gamma, ondas de televisión y radio. Se dice que todos los cuerpos que están a una temperatura mayor al cero absoluto emiten radiación térmica.

Siendo la radiación un prodigio volumétrico para los gases, sólidos y líquidos, ya que estos transmiten y absorben la radiación a diferentes grados, siendo un fenómeno superficial para los sólidos oscuros a la emisión térmica, como las rocas, maderas y los metales, porque la radiación que emiten estos materiales desde el interior no alcanzan las superficies, absorbiéndose la radiación que inciden los cuerpos. (Cengel y Boles, 2015, p. 94)

1.3.7.5.1. Ley de Stefan-Boltzmann

“Mide la máxima tasa de radiación que se puede brindar desde un área a temperaturas absolutas. Solo se aplica a los cuerpos negros y a radiaciones térmicas”. (Cengel y Boles, 2015, p. 95).

$$Q_{emitida\ max} = \sigma * A * T_s^4 \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde:

- A Área superficial (m^2)
- σ $5.67 \times 10^{-8} \ W/m^2 * K^4$ constante de Stefan-Boltzmann
- T_s temperatura absoluta.
- Q Radiación máxima de un cuerpo negro (W)

La radiación que emiten los cuerpos negros es mayor que la radiación que emiten las superficies reales a una misma temperatura y es expresada como:

$$Q_{emitido} = \varepsilon * \sigma * A * T_s^4 \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde:

- ε Emisividad de la superficie
- α Absorbancia
- Q Radiación superficie real (W)
- T_s^4 Cuarta potencia de temperatura absoluta ($^{\circ}K$)

1.3.7.5.2. Emisividad (ε)

“Se entiende por Emisividad a la proporción de radiación térmica expuesta sobre una superficie gracias a su temperatura” (Cengel y Boles, 2015, p. 97).

1.3.7.5.3. Absorbancia (α)

“Se entiende por absorbancia en termodinámica a la porción de energía de radiación incidente sobre un área absorbida mediante la misma” (Cengel y Boles, 2015, p. 97).

1.3.7.5.4. Según la Ley Kirchhoff de la radiación

“establece que la Emisividad y absorbancia son iguales solo si tienen la misma longitud de onda y temperatura” (Cengel y Boles, 2015, p. 97).

$$Q_{abs} = \alpha Q_{incidente} \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde:

- Q_{abs} Tasa de radiación absorbida por una superficie (W)
- $Q_{incidente}$ Tasa de radiación incidente sobre una superficie (W)

Se dice que un cuerpo está ganando energía por radiación cuando la radiación absorbida es mayor que la radiación emitida, caso contrario se dice que está perdiendo energía por radiación.

1.3.7.6. Transferencia neta de calor por radiación

Se llama transferencia neta calor por radiación a la diferencia que existe entre la radiación emitida por una superficie y la radiación absorbida.

$$Q_{rad} = \varepsilon * \sigma * A(T_s^4 - T_{alrededores}^4) \quad \text{Ecuación 43}$$

Donde:

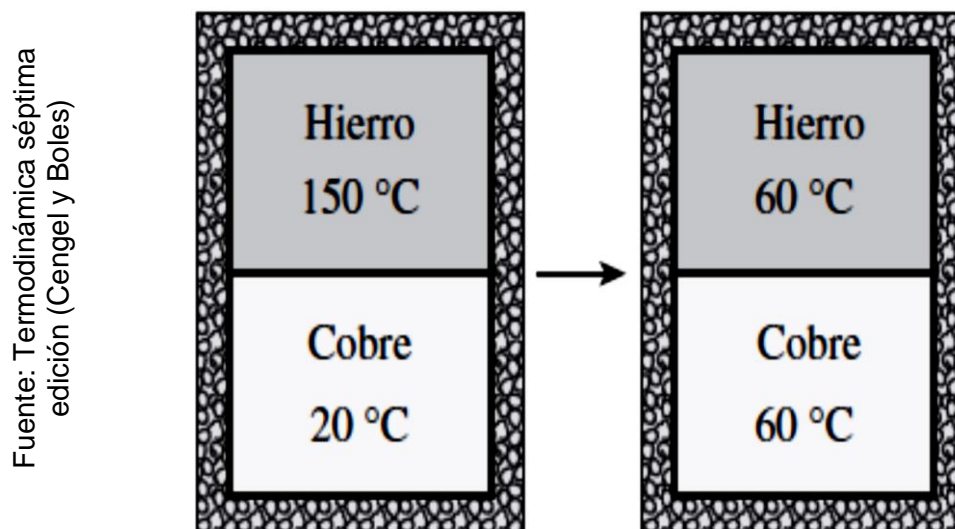
Q_{rad} Tasa de transferencia neta de calor por radiación (W)

$T_{alrededores}^4$ Temperatura absoluta del ambiente (°K)

1.3.8. Ley cero de la termodinámica

Explica que si dos sistemas están en contacto físico o separadas y que intercambian energía térmica hasta llegar a un punto en donde las temperaturas se igualan, entonces se dice que un sistema está en equilibrio térmico. Al igualarse las temperaturas de ambos el flujo de transferencia de calor se anula. (Cengel y Boles, 2015, p. 17)

Figura 10



Sistemas en equilibrio térmico

1.3.8.1. Conductividad térmica

“Es la facilidad con la que se puede trasladar la energía térmica en un material, ya sea mediante un fluido o por contacto directo, pasando la energía desde un cuerpo frío a un cuerpo más caliente” (Cengel y Boles, 2015, p. 92).

1.3.9. Primera ley de la termodinámica

La energía no se crea ni se destruye solo se transforma, siendo la energía una propiedad termodinámica, esto quiere decir que la energía se mantiene constante en el universo, esta ley establece que, durante la interacción de un sistema y sus exteriores, la cantidad de energía absorbida por el sistema debe de ser exactamente igual a la energía perdida por su entorno. (Cengel y Boles, 2015, p. 70)

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E_{sistema} \quad \text{Ecuación 44}$$

Donde:

$E_{entrada}$	Energía absorbida por el sistema (kJ)
E_{salida}	Energía perdida del sistema (kJ)
$\Delta E_{sistema}$	Diferencial de energía del sistema (kJ)

1.3.9.1. Ecuación general de la energía

La ecuación general de la energía está relacionada con la primera ley de la termodinámica, que se refiere a la conservación de la energía la cual no se crea ni se destruye solo se transforma en sus diferentes formas de energía. “Un sistema puede intercambiar energía mediante dos formas en un sistema cerrado, mediante calor (Q) y trabajo (W). (Cengel y Boles, 2015, p. 251)

$$Q - W = \frac{dE_{sistema}}{dt} \quad \text{Ecuación 45}$$

Donde:

Q	Transferencia de calor (kJ)
W	Transferencia de trabajo (kJ)
$\frac{dE}{dt}$	Energía total intercambiada por el sistema (kJ)

Tabla 5

Conductividad térmica de los materiales a temperatura ambiente

Material	Conductividad térmica W/m. °K	Material	Conductividad térmica W/m. °K
Diamante	2300	Agua	0.613
Plata	429	Piel Human	0.37
Cobre	401	Madera (Roble)	0.17
Oro	317	Helio	0.152
Aluminio	237	Hule suave	0.13
Hierro	80.2	Fibra de vidrio	0.043
Mercurio	8.54	Aire	0.026
Vidrio	1.4	Uretano	0.026
Ladrillo	0.72	Espuma rígida	

Tabla 6

Emisividad de algunos materiales a 300 °K

Material	Emisividad	Material	Emisividad
Papel aluminio	0.07	Papel blanco	0.92 - 0.97
Aluminio anodizado	0.82	Asfalto	0.85 - 0.93
Cobre pulido	0.03	Ladrillo rojo	0.93 - 0.96
Oro pulido	0.03	Piel humana	0.95
Plata Pulida	0.02	Madera	0.82 - 0.92
Acero inoxidable	0.17	Suelo	0.93 - 0.96
Pintura negra	0.98	Agua	0.96
Pintura blanca	0.9	Vegetación	0.92 - 0.96

1.3.9.2. Ecuación general de estado de gas ideal

La ecuación general de los gases resulta de una combinación de leyes de gases, las cuales cada una de sus variables se refieren a fundamentos termodinámicos, todas estas leyes describen el estudio del volumen, presión y la temperatura, está compuesta por la ley de Avogadro, Charles – Gay Lussac, y Boyle Marriote. Esta ecuación se refiere al comportamiento de un gas cuando sufre algún cambio de estado químico, el cambio de estado más conocido tenemos el cambio de fase gaseosa, estudiando de manera el volumen, la presión y la temperatura. (Cengel y Boles, 2015, p. 137)

$$P = R \left(\frac{T}{V} \right) \quad \text{Ecuación 46}$$

Donde:

- P presión absoluta (*Pa*)
T Temperatura absoluta (*°K*)
V Volumen específico (*m³/kg*)
R Constante de proporcionalidad del gas (*kJ/kg . °K*)

Todos los Gases tienen diferentes constantes de proporcionalidad y se calcula de la siguiente manera.

$$R = \frac{R_U}{M} \quad \text{Ecuación 47}$$

Donde:

- R_U Constante universal de los gases (*kJ/kmol . °K*)
M Masa molar o peso molecular del gas (*kg/kmol*)

Representación de la ecuación de estado del Gas ideal de diferentes maneras.

$$V = mv \rightarrow Pv = mRT \quad \text{Ecuación 48}$$

$$m = M * N \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde:

- m masa del sistema (*kg*)
N Número de moles

1.3.9.3. Calores específicos

Es la cantidad de energía que necesita una unidad de masa de una sustancia, para elevar su temperatura a un grado Celsius, en termodinámica los calores específicos se dividen en dos clases, el calor específico a volumen constante y el calor específico a presión constante, decimos también que se requieren cantidades diferentes de energía para elevar un grado de temperatura de masas semejantes, pero que son pertenecientes a sustancias diferentes. Varias sustancias tienen diferentes capacidades de almacenamiento de energía, es así que mediante esta propiedad de calor específico se puede identificar que sustancia es la que mejor calor específico pueda almacenar. Los dos tipos de calores específicos guardan cierta relación, ya que el calor específico a volumen constante es una medida de variación de energía interna

de una sustancia con la temperatura, mientras que el calor específico a presión constante es una medida de la variación de entalpía de una sustancia con la temperatura. (Cengel y Boles, 2015, p. 200)

Tabla 07

Densidades y calores específico de los materiales más utilizados

Material	Densidad Kg/m³	Calor Especifico kJ/kg°C
Agua	1000	4.186
Acero	7853	0.500
Roca o piedra	2724	0.880
Concreto	2244	0.960
Ladrillo	2244	0.840
Arena	1522	0.800
Pino o abeto	433	2.800
Arcilla	1010	0.920

1.3.10. Segunda ley de la termodinámica

En la actualidad existen dos enunciados de diferentes autores como el del Kelvin-Planck, el autor describe que se relaciona con las máquinas térmicas, mientras que el de Clausius, explica que su teoría está relacionada con las bombas de calor y los refrigeradores.

Según Clausius dice que es imposible que exista dispositivo alguno que funcione en un proceso, sin que sea capaz de producir ningún efecto de transferencia de calor de una masa de menor temperatura a otro de mayor temperatura.

Se sabe muy bien que el calor no se transfiere por sí solo, desde un cuerpo frío hacia otro caliente, lo cierto es que el enunciado de Clausius no quiere decir que sea imposible diseñar ese dispositivo cíclico que sea capaz de transferir el calor de un medio frío a otro más caliente, bajo este principio de funcionamiento es el que realizan las refrigeradoras, esto nos dice que un dispositivo no puede funcionar sin otra fuente de energía externa, como el caso de los motores eléctricos en los refrigeradores, de esta forma es que cierta energía externa es consumida en forma de trabajo, por lo tanto, el enunciado de Clausius concuerda con su teoría de la segunda ley de la termodinámica. Las teorías de

Clausius y kelvin-Planck son semejantes en sus consecuencias, se puede usar cualquiera de los enunciados para explicar la segunda ley de la termodinámica, cualquier mecanismo que vulnere la teoría de Kevin-Planck también quebrantara el enunciado de Clausius y viceversa. Ambas manifestaciones son negativas, lo cual indica que este tipo de enunciados no se pueden comprobar, como cualquier otra ley física. Esta ley en termodinámica está basada en observaciones experimentales. Con lo cual a la fecha no se ha demostrado ningún experimento que contradigan a estas teorías de la segunda ley y esto basta como prueba de su gran validez.

Según Kevin-Planck dice que es imposible que un dispositivo que funcione en un ciclo absorba calor de un solo depósito y provoque una cantidad de energía. Es decir que ninguna maquina térmica puede transformar todo el calor que recibe en trabajo útil, por lo tanto, en conclusión, con el enunciado de Kevin-Planck se dice que ninguna maquina térmica puede tener un rendimiento térmico de 100% ya que existen perdidas por disipación y otros factores. (Cengel y Boles, 2015, p. 305)

1.3.11. Psicrometría en el proceso de secado

La carta psicrométrica es de mucha importancia para entender los fenómenos que ocurren en las mezclas de gas vapor, la cual está ligado principalmente a la humedad del aire atmosférico, el mismo que contiene ciertas cantidades de vapor de agua. Por tal motivo es que para el proceso de secado se requieren conocer de ciertos efectos del aire en el proceso de secado. (Cengel y Boles, 2015, p. 758)

1.3.11.1. Humedad relativa del aire

Se puede determinar de varias formas la cantidad de vapor que existe en el aire, lo más lógico es determinar la masa de vapor de agua existente en una masa de aire seco, a las que se llama comúnmente como humedad absoluta o específica, en otras fuentes también se les conoce como relación de humedad. (Cengel y Boles, 2015, p. 751)

$$\phi = m_v/m_a \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde:

ϕ Relación de humedad *kg de vapor agua/ Kg de aire seco*

m_a Masa de aire seco kg

m_v Masa de vapor de agua kg

1.3.11.2. Humedad específica

es el cociente entre la masa de vapor y la masa de un gas seco

$$X = \frac{m_v}{m_a} \quad \text{Ecuación 51}$$

$$X = 0.622 * \frac{P_v}{P_s} = 0.622(\phi) \frac{P_s}{P - P_s} \quad \text{Ecuación 52}$$

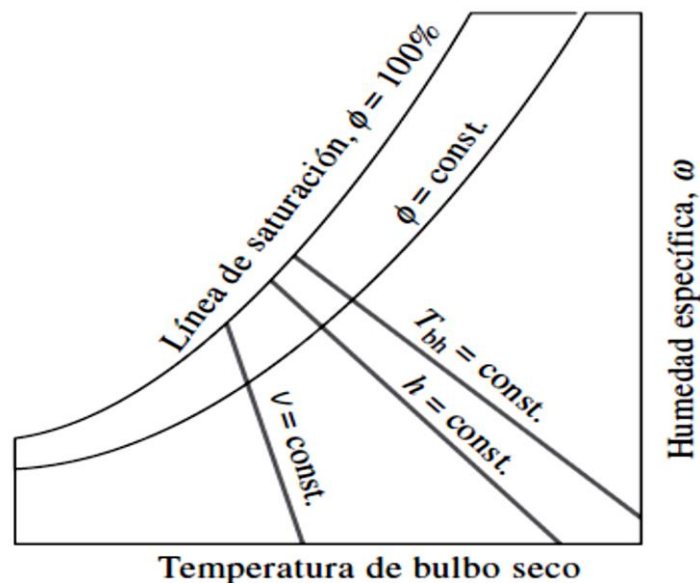
1.3.11.3. Temperatura de bulbo seco

“Viene hacer la toma de lectura del mercurio debido a la sensibilidad del bulbo que, al hacer contacto con una mezcla, genera una cantidad de medida de temperatura, principalmente es la temperatura del aire atmosférico” (Cengel y Boles, 2015, p. 758).

1.3.11.4. Temperatura de bulbo húmedo

“Viene hacer la toma de lectura de un termómetro mediante el bulbo humedecido, ya que, al pasar una corriente de aire húmedo por el bulbo, este indicara cuanto es la temperatura del mismo” (Cengel y Boles, 2015, p. 758).

Figura 11



Esquema de una carta psicrométrica

Fuente: Termodinámica séptima edición
(Cengel y Boles)

1.3.12. Proceso de secado

[...]. “Muchos de los productos agrícolas para aumentar su duración de almacenamiento son desecados, debido a que mediante este método se pueden conservar por un buen tiempo, ya que al realizar la deshidratación se evitan la proliferación de hongos y bacterias” (ITESO, 1995, p. 116).

El proceso de secado significa el intercambio de energía de calor y masa, esto se refiere a la cantidad de vapor de agua que se le puede extraer a un producto sólido, también se puede decir que es la eliminación de pequeñas cantidades de fluidos orgánicos a la materia prima. La desecación de productos orgánicos, implica la evaporación del líquido a una fase gaseosa no saturada, esto representa a un intercambio energético elemental, ya que especialmente el proceso de secado comúnmente lo realizan las industrias alimentarias. Para realizar el proceso de secado de granos agrícolas se necesitan de factores muy importantes que se deben de manejar para el proceso, la temperatura de secado, velocidad de flujo de aire caliente, humedad relativa del aire, mientras menos humedad contenga el aire mejor se realizara el proceso de secado. (ITESO, 1995, p. 117)

1.3.12.1. Secado por lotes

El secado por lotes es cuando se carga el contenido húmedo al proceso de secado hasta obtener la humedad requerida, comúnmente se llama a este proceso como Batch o también de ciclo inicio – fin. Generalmente este tipo de procesos se utilizan para producción a gran escala, ya que para pequeñas cantidades resulta muy costoso. (Treybal, 1980, p. 730)

1.3.12.2. Secado continuo

Este proceso de secado continuo se refiere al constante intercambio de energía que realizan los sólidos con el gas caliente, la materia prima es ingresada permanentemente sin obstáculo alguno al secador. Principalmente este método procesa grandes cantidades de materia sólida en comparación con su tamaño y además el costo de secado es uniforme. (Treybal, 1980, p. 758)

1.3.12.3. Definiciones de tipos de humedad

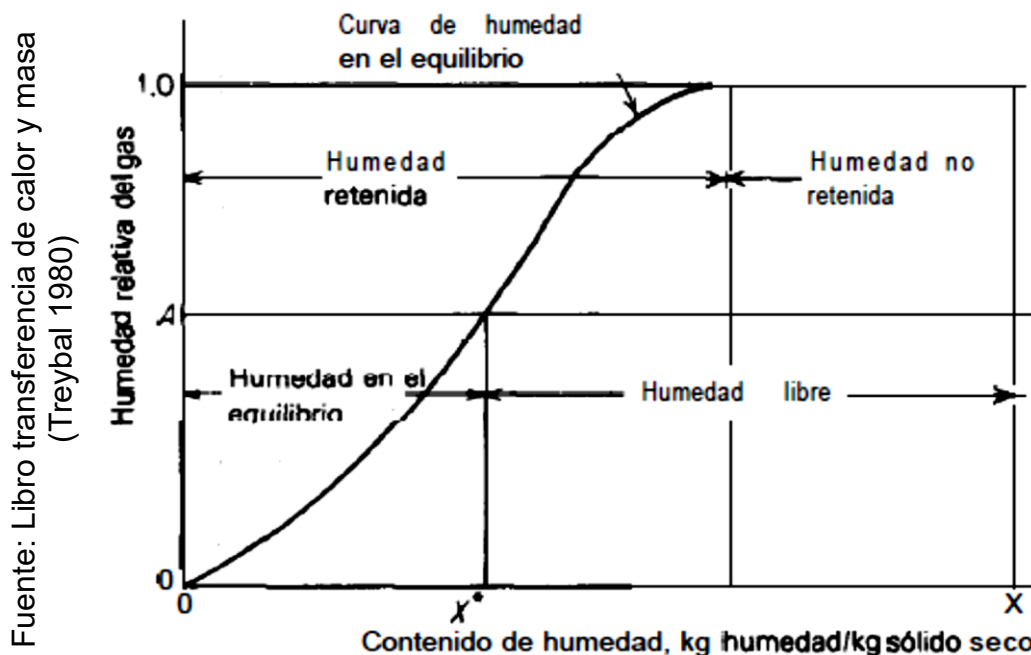
Para encontrar la humedad en un sólido, simplemente se tiene que hacer un análisis de la cantidad de humedad que contienen los granos u almendras antes de pasar a la etapa de secado.

1.3.12.3.1. Humedad equilibrio

Es cuando el vapor del líquido contenido en el sólido húmedo se iguala a la presión parcial de vapor de agua del aire. Es decir que es la igualdad de humedad en el vapor de presión del solido húmedo y el vapor de agua del aire, Al pasar una corriente de aire por una superficie liquida este arrastrara pequeñas cantidades de agua en forma de vapor hasta llegar al equilibrio de humedad tanto el sólido como el gas. (Treybal, 1980, p. 724)

En general es la cantidad de humedad que se puede secar un sólido mediante el contacto de aire de humedad y temperaturas determinadas. Si la humedad de equilibrio es menor que la humedad del sólido, entonces el sólido se deshidratara hasta que los dos lleguen alcanzar el porcentaje de humedad de equilibrio. Si la humedad de equilibrio es mayor que la humedad del sólido, este absorberá el contenido de agua del aire hasta alcanzar los dos la misma humedad de equilibrio. (Treybal, 1980, p. 725)

Figura 12



1.3.12.3.2. Humedad critica

Es la cantidad de humedad que se le puede extraer a un sólido, esto depende generalmente de la concentración superficial de humedad del mismo, ocurre cuando la condición de secado normal pasa a un secado de velocidad constante, a una de velocidad decreciente. Según McCormick, la humedad critica se incrementa cuando aumenta la velocidad de secado y el tamaño del grano, ya que al aumentar estos valores se desarrollan gradientes de humedad en el interior del sólido, impidiendo que la velocidad decreciente con altos contenidos de humedad. (Treybal, 1980, p. 728)

1.3.12.3.3. Humedad limite

“Es la humedad interna que contienen los sólidos interinamente, esta humedad ejerce una presión de vapor, que principalmente es menor que la presión de vapor de agua que está en contacto con la superficie del sólido” (Treybal, 1980, p. 728).

1.3.12.3.4. Humedad no limite

Es la humedad superficial que contiene un sólido, generalmente es la que está en contacto directo con la transferencia de masa y energía, mediante la convección del aire, se dice entonces que es la cantidad de humedad de una sustancia que influye una presión de vapor en equilibrio, al igual que una sustancia con una misma temperatura. (Treybal, 1980, p. 728)

1.3.12.3.5. Humedad libre

“Viene hacer el exceso de humedad contenida en un sólido, sobre el valor de humedad de equilibrio, principalmente es la humedad que queremos retirar de un grano u otros sólidos” (Treybal, 1980, p. 728).

$$X_F = X - X_{eq} \quad \text{Ecuación 53}$$

Donde:

X_F Humedad libre

X Humedad superficial o no limite

X_{eq} Humedad de equilibrio

1.3.12.4. Contenido de humedad en base húmeda

“Es el grado de humedad de un sólido, que se expresa en forma de porcentaje de masa de humedad. Está en función de la masa del líquido existente en el producto húmedo y la unidad de masa del producto húmedo” (Treybal, 1980, p. 728).

$$X_{bh} = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de solido humedo}} \times 100\% \quad \text{Ecuación 54}$$

1.3.12.5. Contenido de humedad en base seca

Es la correlación de la masa del líquido existente en un producto húmedo y la unidad de masa del producto seco

$$X_{bs} = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa del solido seco}} * 100\% \quad \text{Ecuación 55}$$

1.3.12.6. Relación entre X_{bh} y X

Esto quiere decir que la humedad del solido húmedo es igual a la humedad del solido seco más la masa de agua.

$$X_{bh} = \frac{\text{agua}}{\text{solido seco} + \text{agua}} = \frac{1}{\frac{s.seco}{\text{agua}} + 1} = \frac{1}{\frac{1}{x} + 1} = \frac{X}{1 + X} \quad \text{Ecuación 56}$$

Despejando la relación de humedad de base húmeda

$$X_{bh} = \frac{X}{1 + X} \quad \text{Ecuación 57}$$

De la ecuación se tiene que:

$$X_{bh} + XX_{bh} = X \quad \text{Ecuación 58}$$

Entonces la ecuación de base seca y base húmeda son equitativamente iguales, y se representa en forma general la humedad del sólido.

$$X = \frac{X_{bh}}{1 - X_{bh}} \quad \text{Ecuación 59}$$

“Para realizar el diseño del secador principalmente se utiliza humedad de base seca, debido a que es un valor que es constantes durante todo el proceso de secado, en cambio en base húmedo esta va cambiando durante el proceso de secado con el tiempo” (Treybal, 1980, p. 728).

1.3.12.7. Calor latente de evaporación de agua contenida en las almendras de cacao

Es la cantidad de energía necesario para elevar un grado de temperatura de una sustancia, en este caso como el contenido de agua de granos de cacao. Trejos (citado en Parras, Roa y Oliveros (2008)). Destaca en sus estudios de equilibrio de isothermas higroscópicas, determino una ecuación para determinar el calor latente de evaporización en los granos de café, pero ya que tanto el café y el cacao son iguales se estima esta ecuación para el estudio de secado de cacao.

$$L = (2502.4 - 2.42958 * T)[1 + 1.44408 \exp(-21.5011 * M)] \text{Ecuación 60}$$

Dónde:

T Temperatura del cacao ($^{\circ}C$)

M Contenido de humedad del cacao

1.3.12.8. Humedad de las almendras de cacao

“Es la cantidad de agua que contiene los granos después de la cosecha del cacao listo para la etapa de fermentación” (Tinoco y Yomali, 2010, p. 4).

$$H_c = \frac{M_w}{M_w + M_s} \text{Ecuación 61}$$

Donde:

M_w Masa de agua en los granos (kg)

M_s Masa de los granos secos (kg)

1.3.12.9. Comportamiento de los granos de cacao durante el secado

Sabemos que, para secar una determinada masa de almendras de cacao, se necesita de un tiempo necesario para que se pueda deshidratar el producto hasta la humedad requerida. Hay factores muy determinantes que influyen bastante en la etapa de secado, siendo la velocidad un parámetro muy importante para determinar en cuanto tiempo se demora en secar una cantidad de material sólido. (Treybal, 1980, p. 728)

1.3.12.10. Tiempo de secado

A aquí se producen dos períodos muy importantes a considerar para el secador de granos de cacao.

1.3.12.10.1. Velocidad de secado constante

[...]. “En este periodo de velocidad de secado es constante, debido a que se evapora la mayor cantidad de agua de la superficie del sólido” (Treybal, 1980, p. 741).

La velocidad de secado es muy importante para obtener una buena deshidratación ya que es un factor importante disminuir la humedad interna de los granos, la cual depende de la densidad del producto, temperatura del aire, velocidad superficial del aire, humedad relativa del aire, la capacidad de procesamiento a secar y el tamaño de los granos de cacao. (Tinoco y Yomali, 2010, p. 4)

$$V_C = \frac{h_C (T_A - T_S)}{H_{FG}} \quad \text{Ecuación 62}$$

Donde:

H_C Coeficiente de convección ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

T_A Temperatura de secado ($^\circ C$)

T_S Temperatura de la superficie ($^\circ C$)

H_{FG} Calor latente de evaporización del agua (kJ/kg)

1.3.12.10.2. Tiempo de secado de cacao constante

El tiempo de secado depende de muchos factores muy importantes, ya que tienen que ver mucho con el clima, temperatura, humedad y el método a emplear para el secado de cacao. Siendo el secado al sol un método que tarda bastante tiempo de 5 a 8 días en promedio para realizar el secado al natural, necesitando una área de 6 m^2 en tendales por cada 50 kg (quintal). Mientras que con secadores artificiales se realizaran en un tiempo menor hasta 12 horas

para secar 50 kg, dependiendo del porcentaje de humedad de los granos de cacao, con temperaturas de 50°C a 60°C" (Tinoco y Yomali, 2010, p. 57).

$$T_c = \frac{M_s (X_I - X_C)}{A_s * V_C} \quad \text{Ecuación 63}$$

Donde:

X_I Humedad inicial de los granos

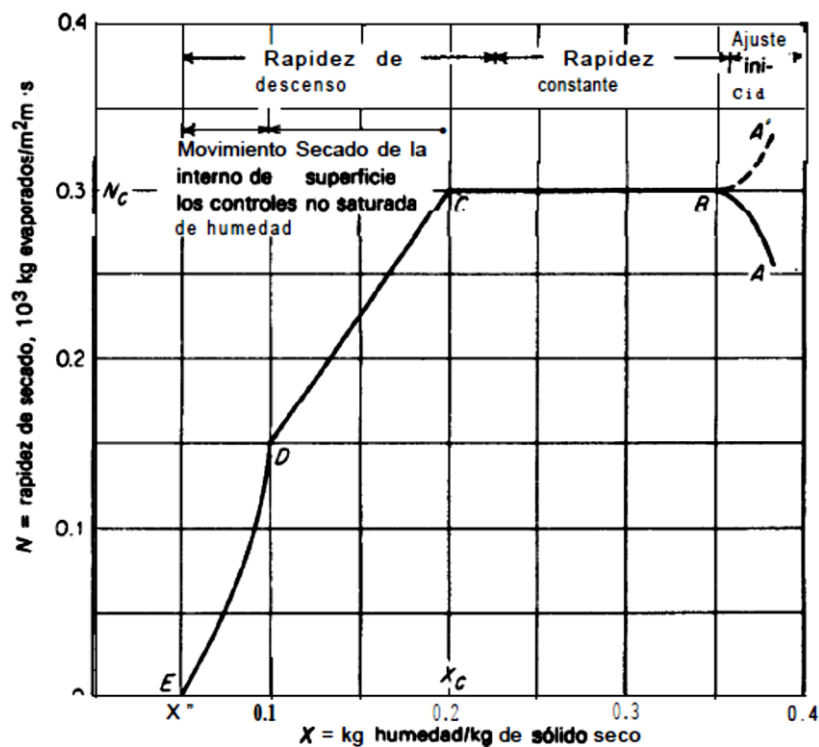
X_C Humedad crítica

A_s Área de secado (m^2)

1.3.12.10.3. Velocidad de secado decreciente

En este periodo la rapidez decreciente es cuando ya paso a de una de la etapa de rapidez constante, con la cual el solido llega a su humedad crítica, esto quiere decir que cuando empieza la rapidez decreciente la superficie del solido se encuentra completamente seca, pero que internamente todavia contiene humedad, a un se desconoce la variacion de velocidad este periodo, pero que se asume que la variación es lineal durante el periodo de secado. (Treybal, 1980, p. 741)

Figura 13



Variación de la rapidez de secado

Fuente: Libro transferencia de calor y masa (Treybal 1980)

$$V_d = V_c * \frac{X_f - X_e}{X_c * e} \quad \text{Ecuación 64}$$

Donde:

X_f Humedad final del grano

X_e Humedad de equilibrio del grano

X_c Humedad crítica del grano

1.3.12.10.4. Tiempo de secado de cacao decreciente

$$T_d = \frac{M_s (X_c - X_e)}{A_s * V_c} \quad \text{Ecuación 65}$$

Donde:

X_c Humedad crítica

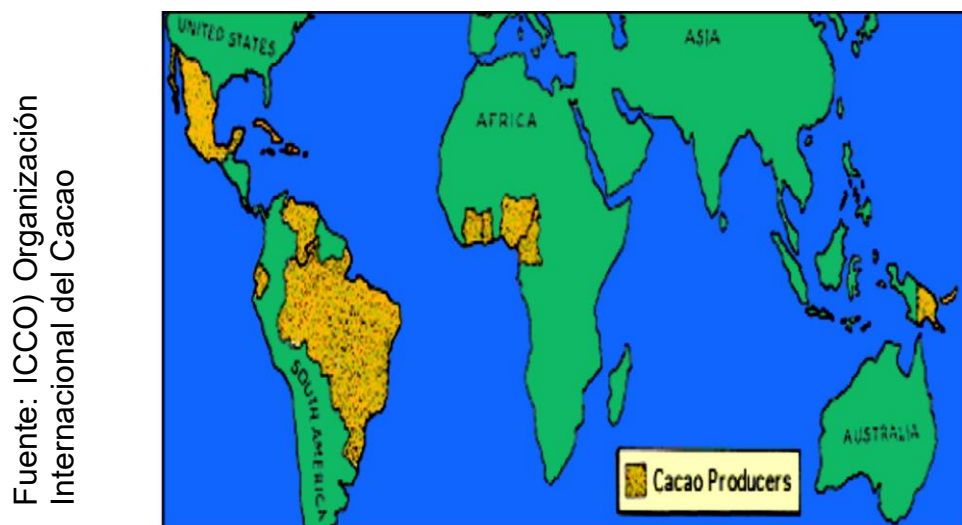
X_e Humedad de equilibrio

V_c Velocidad de secado constante

La desecación de granos de productos agrícolas se basa principalmente en la evaporación del agua interna del producto sólido, realizándose el proceso de transferencia de energía térmica desde el exterior hasta el interior del grano, el aire caliente al entrar en contacto con la masa húmeda, evaporará una pequeña cantidad de vapor de agua del grano sólido debido a la corriente de aire.

1.3.13. Producción mundial de cacao

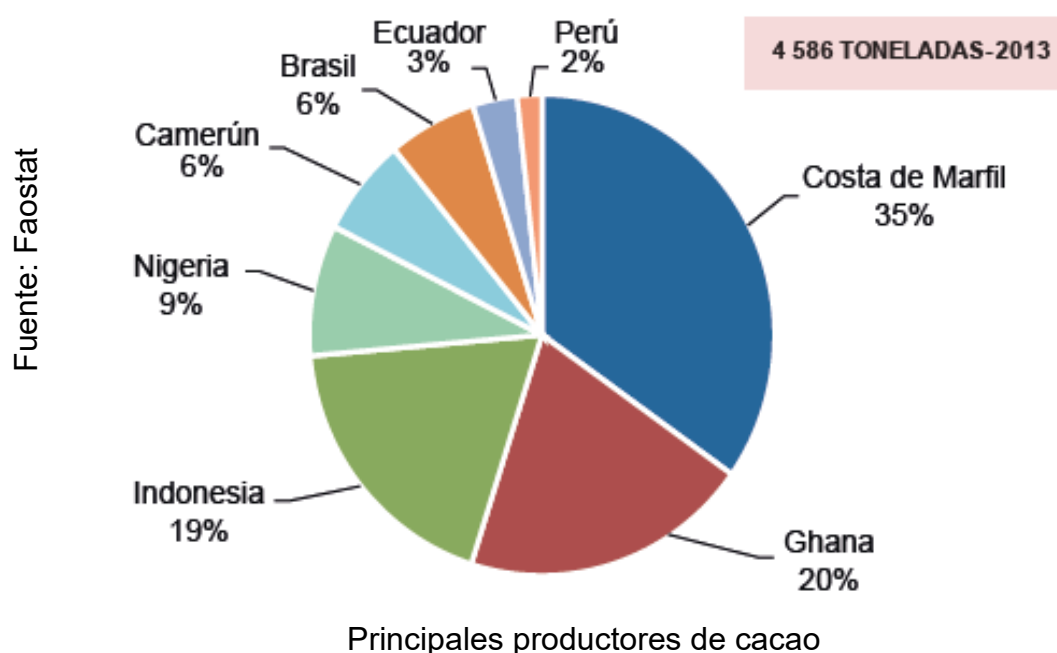
Figura 14



Principales zonas de producción de cacao

Siendo los mejores países del mundo en cultivo de cacao, los países que exportan gran cantidad de cacao seco, Costa de marfil, Ghana, Nigeria, Indonesia, Camerún, Malasia y Ecuador, principalmente estos países representan el 90% de la producción mundial de almendras de cacao. (Minagri, 2016, p. 28)

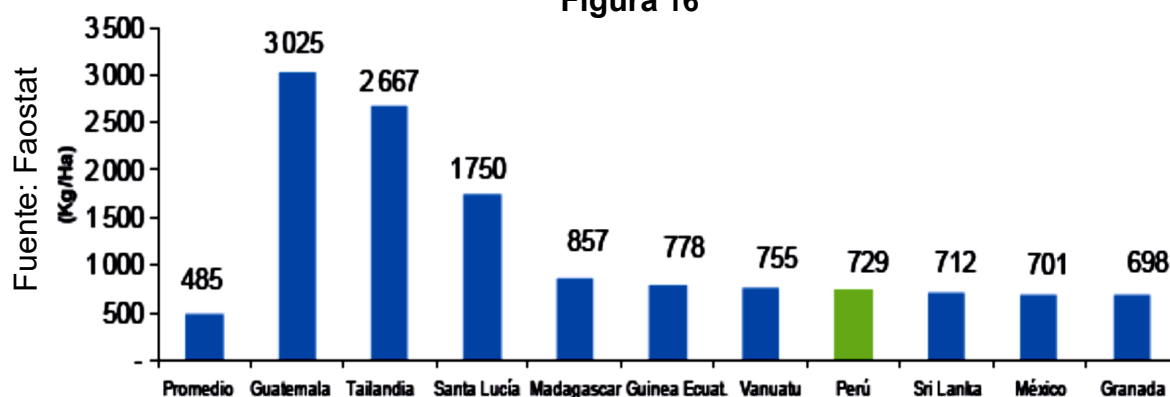
Figura 15



1.3.13.1. Rendimiento mundial del cultivo de cacao

“El rendimiento promedio es de 460 kg/Ha, pero existen otros países que superan el rendimiento normal de otros países. En el caso de Perú los rendimientos por hectárea oscilan entre 650 a 750 kg/Ha” (Minagri, 2016, p. 29).

Figura 16

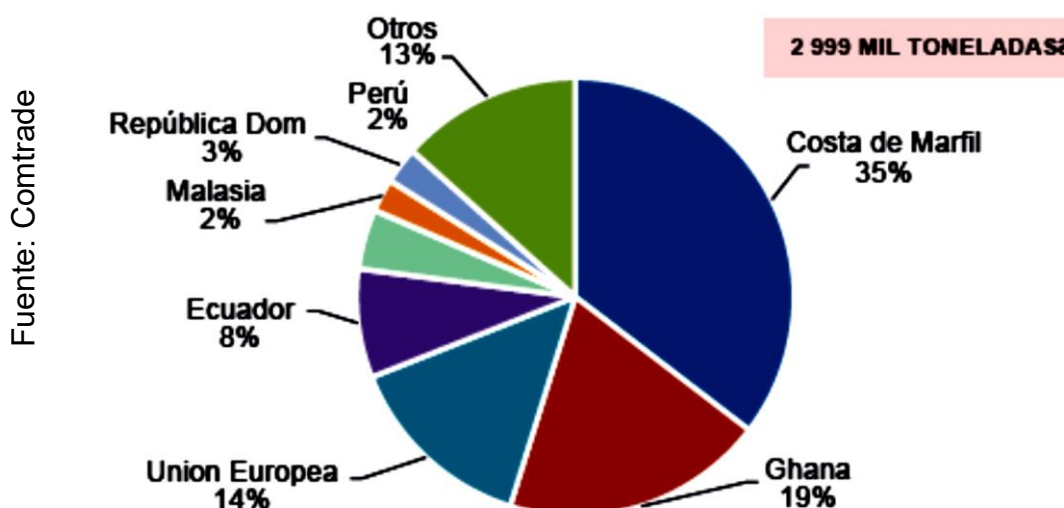


Rendimiento mundial de granos de cacao en el año 2013

1.3.14. Exportación mundial de granos de cacao

Actualmente existe una gran demanda de consumo de almendras de cacao, ya que los granos son transformados para diferentes fines de utilización, las exportaciones de cacao concentran una mayor incidencia en la unión europea como principales consumidores de granos de cacao. (Minagri, 2016, p. 40)

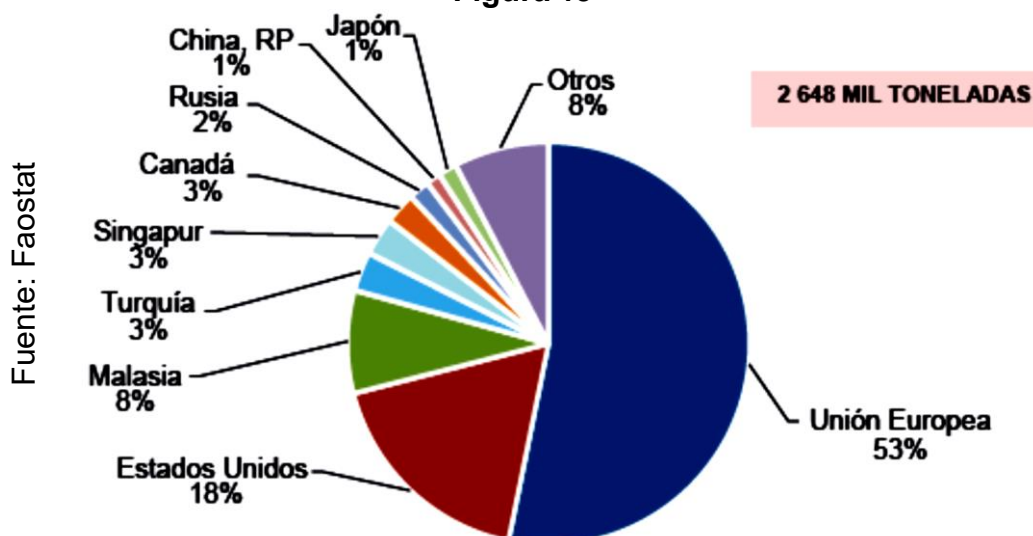
Figura 17



Principales exportadores mundiales de granos de cacao 2015

En los últimos diez años el Perú ha crecido en cantidad de exportación de almendras de cacao, lo que representa 2% de las exportaciones mundiales, equivalentes a 59 mil toneladas en el año 2015.

Figura 18

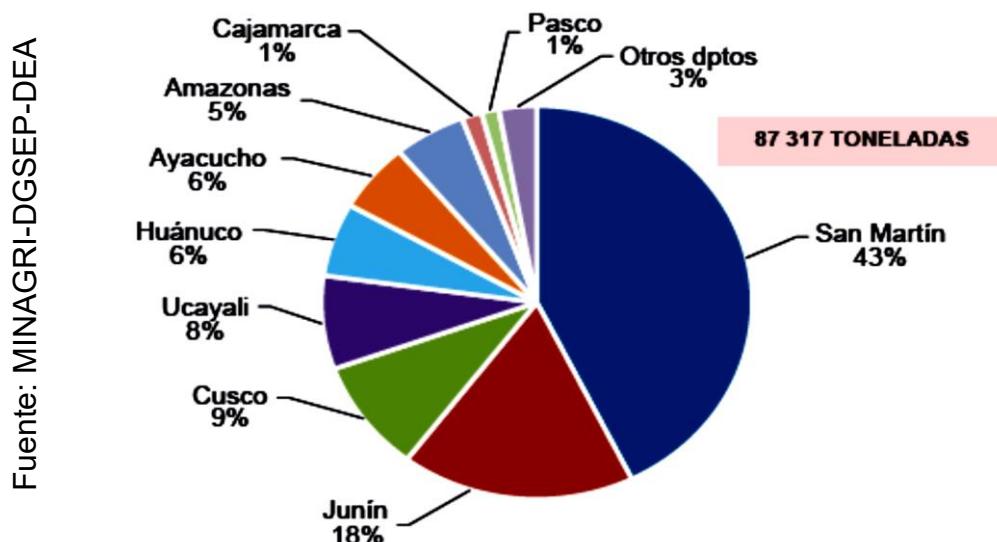


Principales importadores mundiales de granos de cacao 2015

1.3.15. Producción de cacao en el Perú

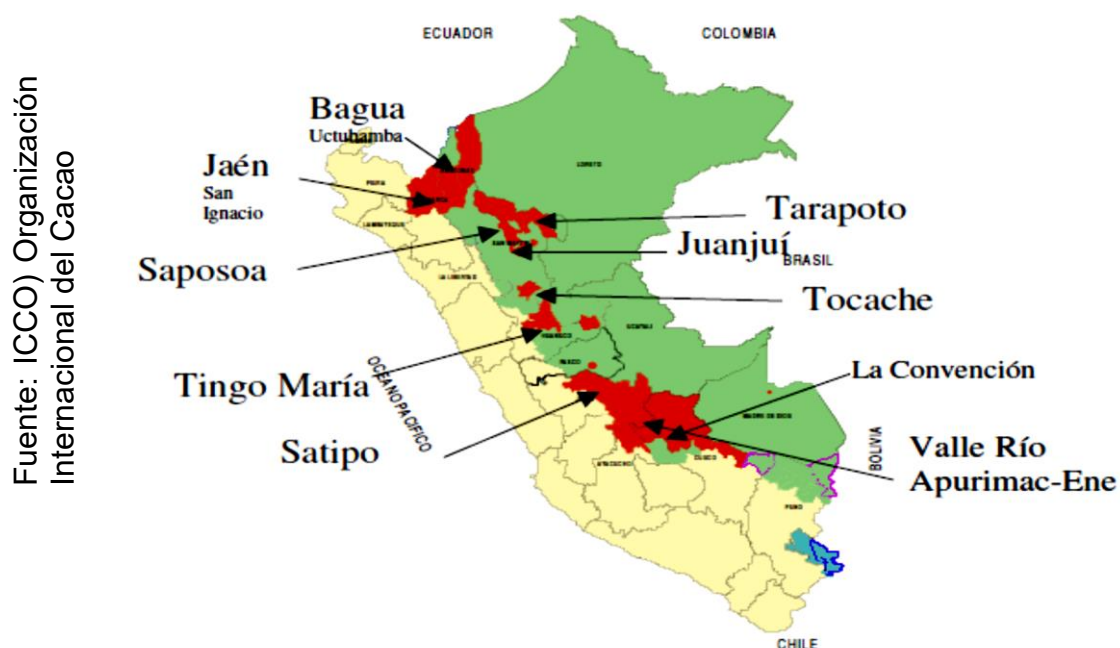
La capacidad de producción nacional de granos de cacao se ha incrementados en un 12%, durante los últimos diez años, la capacidad de producción más elevada se obtuvo en el 2013, con un volumen de 71000 toneladas, recogidas de un aproximado de 96000 hectáreas de cacao. (Ministerio de Agricultura, 2003, p. 40)

Figura 19



Regiones principales de producción de granos de cacao 2015

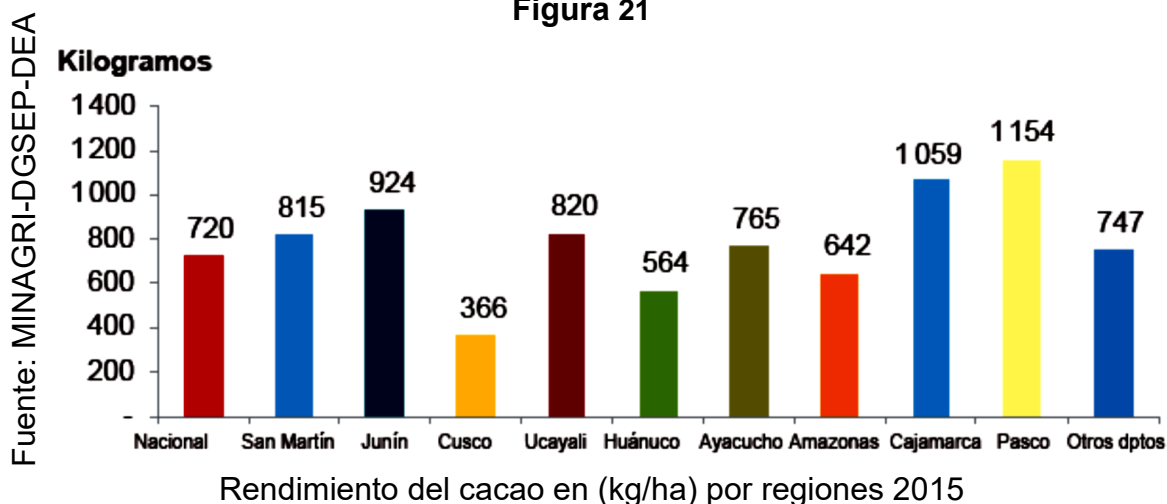
Figura 20



Principales zonas de producción de cacao nacional

1.3.15.1. rendimiento del cacao en el Perú

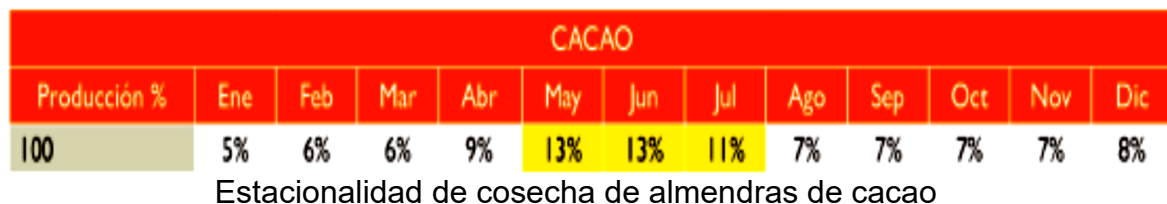
Figura 21



1.3.15.2. Estacionalidad del cacao en el Perú

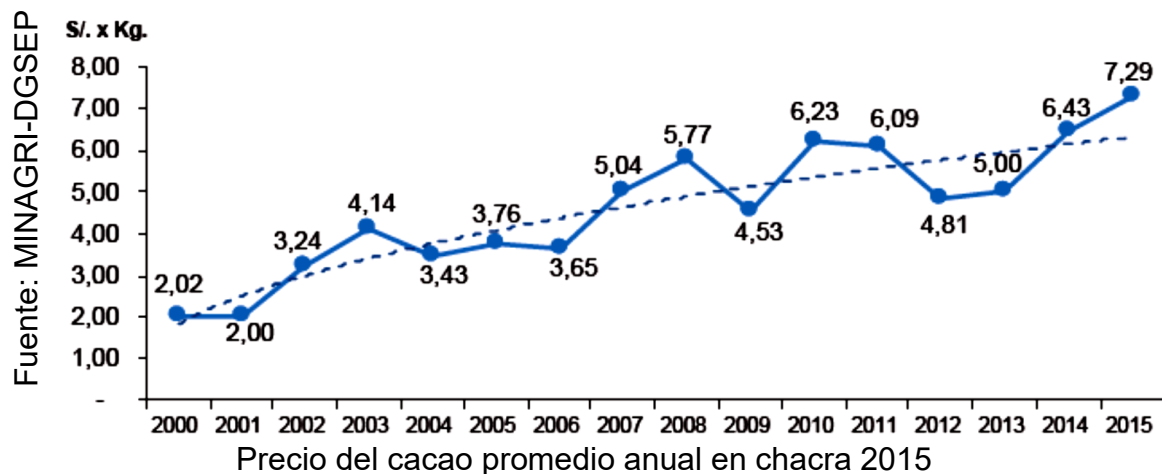
La mayor cosecha de granos de cacao se realiza en lo de mayo, junio y julio, mientras que los meses restantes la capacidad de cosecha es un poco menor. En la zona de Bagua – Utcubamaba la etapa de cosecha empieza desde marzo hasta junio con un total de 80% y el 20% los meses restantes (Minagri, 2016, p. 40).

Figura 22



1.3.15.3. Precio de compra de granos de cacao

Figura 23



Actualmente se ha visto reflejado en el aumento de los precios de compra por kilogramo de almendras secas, aunque hay empresas que realizan la compra en bruto, toda la cosecha anual de los granos húmedos, con el fin de darle un buen proceso de secado y así incrementar a un el precio de venta (Minagri, 2016, p. 52).

1.3.16. Importancia del cultivo de cacao en Amazonas

En la región de Amazonas el cultivo de cacao es muy importante, ya que muchas familias dependen del consumo y venta de granos de cacao, siendo las principales zonas de manejo de cacao las zonas principales productoras de cacao lo encontramos en la provincia de Bagua, el Distrito de Imaza, Copallin, Cumba, Bagua grande, Lonya grande y el distrito de Cajaruro y en la provincia de Utcubamaba, con una capacidad de producción total de 2300 toneladas de almendras secas. El rendimiento de cacao por hectárea está basado en unos 550 kg/Ha a 650 kg/Ha. Según el informe del Ministerio de nacional de agricultura se tiene una plantación alrededor de 3783 hectáreas de cacao, esto representa que el 20% del cultivo de cacao, se alimenta de agua a base de canales de riego, mientras que el 80% solo absorben agua de las lluvias. La provincia de Bagua es la que más producción de cacao cosecha, alrededor de 2300 toneladas de almendras secas, con una plantación de 2862 hectáreas de cacao, cuenta con una población aproximadamente de 2350 familias, la gran mayoría de ellos se dedican al cultivo de cacao. (Ministerio de Agricultura, 2003, p. 40)

1.3.16.1. El cacao Amazonense

La planta del cacao (*Theobroma cacao*) es un cultivo que crece en climas muy tropicales en vertientes bajas occidentales de los andes, se desarrolla a una altura de 300 y 900 m.s.n.m, esta planta necesita mucha humedad relativa del aire y temperaturas moderadas para su crecimiento y dar sus frutos. (Espinoza, Moscol, Mendoza, Normando y Rojas, 2012, p. 65)

Tabla 8

Características Específicas del cacao

Nombre común	Cacao
Nombre científico	Theobroma Cacao
Descripción	El fruto es una baya grande denominada mazorca, con características físicas ovaladas puntiaguda, interiormente se encuentran las pepas carnosas con un lúpulo espeso, cada mazorca contiene en promedio de 30 a 40 pepas.
Familia	Esterculiáceas
Grupo genético	Forastero del alto amazonas, forastero de bajo amazonas, criollo y nacional.
Ciclo vegetativo	Es un cultivo permanente. La primera cosecha se realiza dentro de dos años después del sembrado, esto depende principalmente según el tipo de cacao.
Propiedades	Contiene alcaloides en las semillas como cafeína y teobrina siendo estas unas propiedades químicas que brindan acciones estimulantes.
Usos	Existen muchos usos que se le pueden dar, dentro de ellas tenemos las más importantes tenemos el chocolate, pasteles, dulces, bebidas, eccetra.

El cacao es una planta que nace en los orígenes trópicos húmedos de America, sus principios de aparición salieron de America del sur, al nor oeste la zona amazonense, el cacao por su anatomía botánica recibe el nombre de Theobroma) y por su nombre se conoce a la familia de esterculiasis. La planta de cacao por lo general crece en áreas a 800 metros de latitud, por lo generalmente el árbol de cacao se desarrolla en coordenadas de 15°N y 15°S de la línea territorial del ecuador. (Ministerio de agricultura, 2003, p. 7)

La gran mayoría de las plantaciones que existen en la localidad de Bagua tienen más de 20 años de sembrado, existen nuevas plantaciones que representan el 20% de las plantaciones globales de la zona, mientras que el 80% de estas plantas son de diferentes variedades, pero el tipo de cacao más común es el "criollo", el 10% son clonaciones nacionales más conocido como el CNN-51, estas semillas fueron traídas desde el Ecuador, y el 10% restantes de plantaciones corresponden varios tipos de plantas de cacao, las cuales se obtuvieron mediante injertos con otras variedades, estos tienen un rendimiento mucho mejor que los tipos anteriores, entre ellos tenemos al ICS-95, ICS-6, ICS-1, IMC-67 y al TSH-565. (Ministerio de Agricultura, 2003, p. 42)

Muchos sembradíos son producidos en la zona mediante viveros de plantas de cacao. Generalmente se siembran alrededor de 625 planta a 1111 plantas por hectárea, ya que esto depende de la cantidad y el tipo de arreglo que se pueden dar, las distancias de siembra lo realizan de 3 x 3 m o 4 x 4 m, dependiendo del terreno. La temporada principal de cosecha en Bagua, se realiza en los meses de marzo, abril, mayo y junio, siendo estos meses con mayor productividad de almendras de cacao, mientras que el resto de meses se cosecha mazorcas de cacao a menores cantidades, la cosecha del producto depende primordialmente del estado climático. En la etapa poscosecha muchos de los agricultores no realizan un buen proceso, debido a que desconocen el grado de calidad que debe de tener el mismo para ser exportado, el producto que sale de la zona la gran mayoría solo termina en el mercado nacional. (Ministerio de Agricultura, 2003, p. 51)

Figura 24

Fuente: Manual del manejo técnico del cultivo del cacao blanco de Piura.



Planta de cacao

1.3.17. Etapa pos cosecha del cacao

Es una etapa muy importante después de la cosecha del cacao, ya que si no se realiza un buen tratamiento a las almendras de cacao no se obtendrá un cacao de calidad, como es la fermentación de las almendras de cacao (Espinoza, et al, 2012, p. 64).

Figura 25



Etapa pos cosecha del cacao en Aramango-Bagua-Amazonas

1.3.17.1. Fermentación de almendras de cacao

En libro de manejo de cacao blanco los autores describen que la fermentación es la etapa más importante después de la cosecha de cacao porque aquí es donde las almendras de cacao adquieren propiedades químicas como el color, sabor y el aroma, durante esta operación se van produciendo los alcoholes, ácidos, PH y la humedad se encargan de realizar la fermentación a temperaturas balanceadas, además en el transcurso del proceso de fermentación se va disminuyendo la humedad del grano hasta un 55% a 60% de humedad relativa, cuando no se realiza muy este procedimiento se obtiene un cacao de baja calidad. El proceso de fermentación dura entre 3 a 6 días

dependiendo de la humedad del viento, temperatura y de los tipos de cacao. (Espinoza, et al, 2012, p. 65)

1.3.17.2. Tipos de secado de almendras de cacao

Existen muchos métodos de secado de cacao, todos estos procesos deben de tomar en cuenta parámetros especiales como la temperatura de secado, velocidad de secado y el grado de humedad de las almendras, tomando en cuenta uno de los pasos muy importantes como la fermentación hasta reducir la humedad de los granos de cacao desde el 55% hasta 7% a 8%. (UNODC, 2014, p. 37)

1.3.17.2.1. Secado natural

Se realiza con puesta de las almendras directamente al ambiente en áreas cementadas, extrillas y tendales, se prefiere que el secado se realice en estrilas o tablas cubiertas por carpas plásticas con el fin de que el secado se realice por etapas para lograr un secado uniforme. Durante el tiempo de secado se debe de realizar movimientos a las masas de almendras durante cada hora, se requieren de 6 a 7 días de sol para conseguir el secado, este proceso tiene dificultades ya que al no haber energía solar se tardaría mucho más tiempo de lo normal, también por la contaminación de los granos causados por hongos y plagas, por otra parte, es un método de secado muy económico. (UNODC, 2014, p. 37)

Figura 26

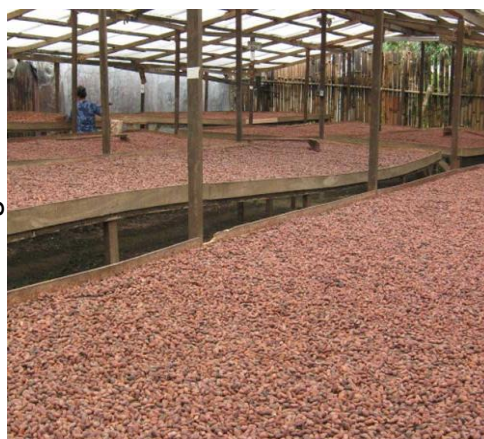
Fuente: compañía nacional de
Chocolates – Colombia



Secado en áreas cementadas

Figura 27

Fuente: asociación de productores
Cacao alto Huallaga



Secado en tendales

1.3.17.2.2. Secado artificial

Se realiza por medio de secadoras con fuentes de calor como leña, combustibles fósiles o resistencias eléctricas. Requiere de cuidados especiales, pues la temperatura debe subir lentamente y debe estar en un rango de entre 50°C y 80°C, manteniéndose por todo el periodo de secado. Existen varios diseños de secadoras artificiales de las cuales su selección dependerá del volumen de cosecha obtenido. (UNODC, 2014, p. 38)

Figura 28



Fuente: Nestlé ecuador

Horno secador a gas

1.3.17.3. Calidad del grano de cacao

La calidad de las almendras de cacao es un factor muy importante ya que depende de este el costo de compra, está directamente con el buen proceso de manejo de cultivo de cacao, buen mantenimiento del cultivo de cacao, una adecuada recolección del producto maduro, el quiebre de las mazorcas, la selección de almendras, la fermentación y un correcto proceso de secado de almendras de cacao. Se requiere de una humedad inicial en fermentación de 55% – 60%, humedad final en los granos de cacao de 7% - 8%, con un

porcentaje de granos defectuosos menor al 10%, granos pizarrosos menor al 10%, y granos violetas menor al 20%. (UNODC, 2014, p. 36)

Tabla 9

Criterios de calidad del cacao

Categoría	Número de esporas/grano	Examinación macroscópica de muestras de granos	Apto para su uso	Calidad
1	100 - 1.000	Ningun rastro de crecimiento de moho	Si	Alta
2	1000 - 10,000	Desarrollo leve de mohos en granos individuales	Si	Baja
3	25,000 - 100,000	Crecimiento considerable como ligero de moho en todas las habas	Incierto	Baja
4	> 100,000	Crecimiento severo de moho en los granos de cacao	No	Muy baja

1.4. Formulación del problema

¿Cómo influye el diseño de un deshidratador solar, en la optimización del tiempo de secado de almendras de cacao?

1.5. justificación del estudio

1.5.1. Justificación científica

La presente tesis se justifica científicamente por la transformación de la energía solar a energía térmica aplicando las teorías científicas, realizando el secado de cacao por transferencia de calor por convección forzada, mediante el método científico.

1.5.2. Justificación social

Con la implementación de esta tecnología se reducirá los costos de secado de almendras de cacao, tiempo de deshidratación y una mejor calidad, siendo beneficiarios muchas familias amazónicas por los bajos costos de secado, aportando a la sociedad el conocimiento de la utilización de las energías renovables en los procesos de secado de cacao.

1.5.3. Justificación económica

El cacao se encuentra distribuido en 16 departamentos del país, siendo las regiones con mayor producción de cacao, San Martín, Cusco, y Junín ocupando el 72% de la producción nacional sembrada y el 74% de los granos producidos, más de 90000 familias son productoras de cacao, creciendo las exportaciones en los últimos años, en el 2015 se realizaron pedidos en más de U\$ 266 millones y para 2016 se estima llegar a US\$ 300 millones, presentemente ocupa el tercer lugar en producción de cacao, en Latinoamérica con un nivel de 85000 toneladas métricas” (Benítez, 2016, párr. 2).

1.5.4. Justificación ambiental

El diseño del deshidratador solar disminuye la contaminación ambiental, ya que no se utilizarán combustibles fósiles para el secado de almendras de cacao, optando como fuente de alimentación la energía solar, siendo una fuente energética inagotable y además es muy limpia con respecto a otras energías.

1.6. Hipótesis

El diseño de un deshidratador solar permite optimizar el tiempo de secado de las almendras de cacao.

1.7. Objetivos:

1.7.1. Objetivo general.

Diseñar un deshidratador solar para optimizar el tiempo de secado de las almendras de cacao.

1.7.2. Objetivos específicos

- a) Realizar una evaluación de los procesos de secado de almendras de cacao.
- b) Determinar la capacidad de procesamiento de secado de granos de cacao.
- c) Calcular la cantidad de radiación solar disponible en Aramango.
- d) Calcular, diseñar y seleccionar los materiales del deshidratador solar aplicando las teorías científicas existentes.
- e) Realizar la evaluación económica y financiera del deshidratador solar.

II. METODO

2.1. Diseño de la investigación

2.1.1. Tipo de la investigación

El tipo de investigación será descriptiva aplicada ya que se implantarán los conocimientos adquiridos durante la formación profesional, dando solución tecnológica al problema, se realizará el diseño tal como se recolecte la información climatológica de la zona.

2.1.2. Diseño

El diseño de la investigación será no experimental ya que no se manipularán las variables.

2.2. Variables y operacionalización

2.2.1. Operacionalización de las variables

Variable independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Instrumentos	Indicador	Escala de medición
Diseño de deshidratador solar	Es un módulo cuya función es de realizar el secado mediante radiación de energía solar. (Tinoco y Yomali, 2010, p. 8).	Medición de la temperatura	Guía de observación	Grados Celsius	°C
		Tiempo de secado	Encuesta	Horas	H
		Flujo de calor	Guía de observación	Watt sobre centímetros cuadrados	w/m^2
Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Instrumentos	Indicador	Escala de medición
Optimización del tiempo de secado de almendras de cacao.	Tiene la finalidad de optimizar el tiempo de secado, minimizando el uso de mano de obra y los costos de secado. (Tinoco y Yomali, 2010, p. 10).	Eficiencia de mano de obra	Encuesta y guías de observación	Horas hombre	<i>horas/hombre</i>
		Optimizar tiempo de secado		Kilogramos/hora	kg/h

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

La población será la capacidad de producción por hectáreas con un valor promedio de los diez años últimos.

Tabla 10

Evolución del rendimiento promedio del cacao

Años	Capacidad (Kg/ha)	Años	Capacidad (Kg/ha)	Años	Capacidad (Kg/ha)
2001	746	2006	742	2011	671
2002	639	2007	630	2012	674
2003	903	2008	441	2013	630
2004	940	2009	347	2014	660
2005	935	2010	454	2015	600

Fuente: MINAG-OEEE

2.3.2. Muestra

En la muestra, se evaluará el rendimiento de producción de cultivo de cacao en base una hectárea, mediante un análisis de cuantos kilogramos de cacao se cosechan por cada quince días (frecuencia normal de cosecha), dato que será empleado en el diseño de la capacidad de desecación del deshidratador solar.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Técnicas

2.4.1.1. Encuesta

Se realizará una encuesta a los productores de cacao en el Distrito de Aramango.

2.4.1.2. Técnica de la observación

Se aplicará la técnica de la observación in Situ para recopilar las pruebas y observaciones

2.4.2. Instrumentos

2.4.2.1. Cuestionario de encuestas

Mediante este instrumento se realizará un cuestionario de preguntas a los productores de cacao la misma que brindará la información sobre el tiempo eficiente del secado de cacao.

2.4.2.2. Guía de observación

Mediante este instrumento se recopilará información sobre el secado de cacao, se utilizarán libros, manuales y la información levantada in situ.

2.5. Método de análisis de datos

Se utilizará el método de análisis inductivo ya que partiremos del problema a una posterior solución.

Mediante el método estadístico realizaremos la confiabilidad del proyecto mediante un software estadístico (SPSS) realizado por un especialista del área.

2.6. Aspectos éticos

La presente tesis se desarrollará manteniendo un grado de privacidad de los autores, del cual se ha recopilado la información de antecedentes con respecto a secadores de cacao, citando a cada autor y dueño de dichas investigaciones, con el fin de evitar cualquier situación de culpa que pudiera perjudicar ocasionar conflictos al autor de esta investigación.

2.7. Validez y confiabilidad

2.7.1. Validez

La validez de los instrumentos de esta investigación se realizará la aprobación de uno a tres especialistas del área

2.7.2. Confiabilidad

La presente tesis poseerá una firmeza en los resultados obtenidos durante, y después de la conclusión del proyecto acudiendo a mejoras económicas, sociales y medio ambientales de las familias cacaoteras.

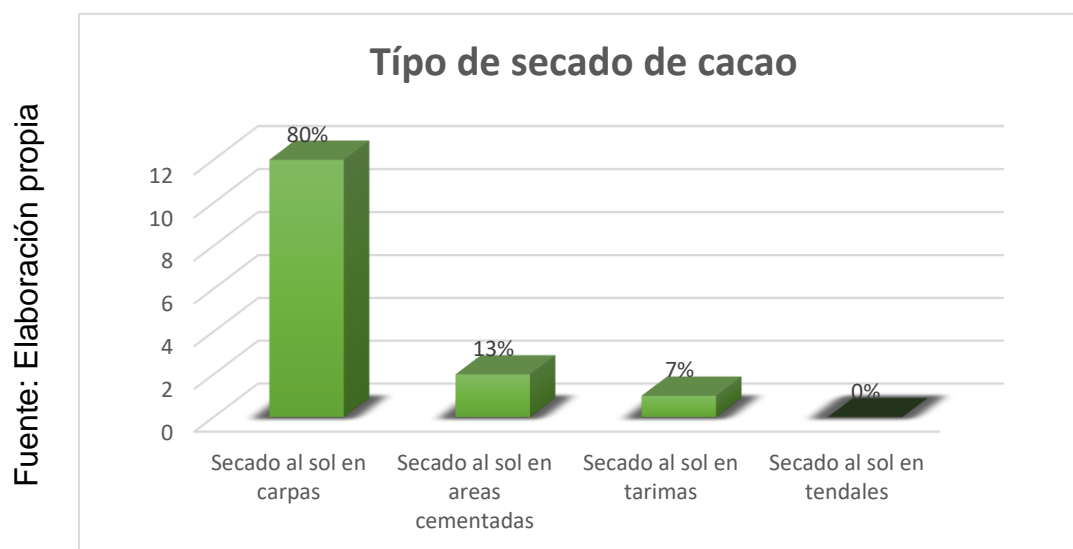
III. RESULTADOS

3.1. Realizar una evaluación de los procesos de secado de almendras de cacao.

3.1.1. Resultados del Cuestionario de encuestas aplicado a los productores de cacao del distrito de Aramango – Bagua – Amazonas.

Resultado estadístico del tipo de secado que utilizan los productores de cacao del distrito de Aramango. Este análisis fue realizado mediante un cuestionario de encuesta, la cuales se evaluaron en el lugar de interés de la mejora para del proceso de secado de almendras de cacao.

Figura 29



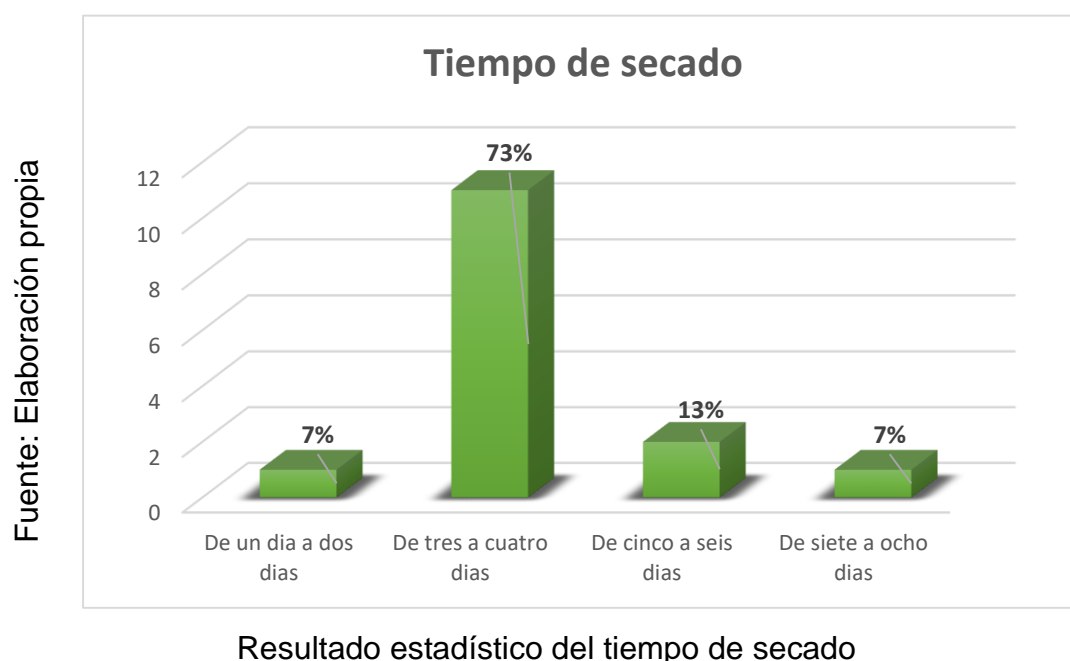
Resultado estadístico del tipo de secado

Esto nos muestra que el 80% de los productores de cacao solo conocen el método de secado de almendras de cacao mediante carpas, mientras que 13% de ellos, realizan áreas cementadas y el 7% lo hacen mediante tarimas, las mismas que están son expuestas directamente al sol, mediante este proceso se corre el riesgo de que los granos se contaminen por agentes externos como bacterias, hongos, animales caseros y roedores, y en consecuencia a esto afecte directamente a la calidad del grano.

3.1.2. ¿Cuál es el tiempo que tarda Ud. en secar los granos de cacao?

Los resultados obtenidos mediante este grafico estadístico nos muestran unos tiempos promedios que fueron recolectados de los productores de cacao, ya que ellos tienen una gran experiencia en el cultivo de cacao.

Figura 30

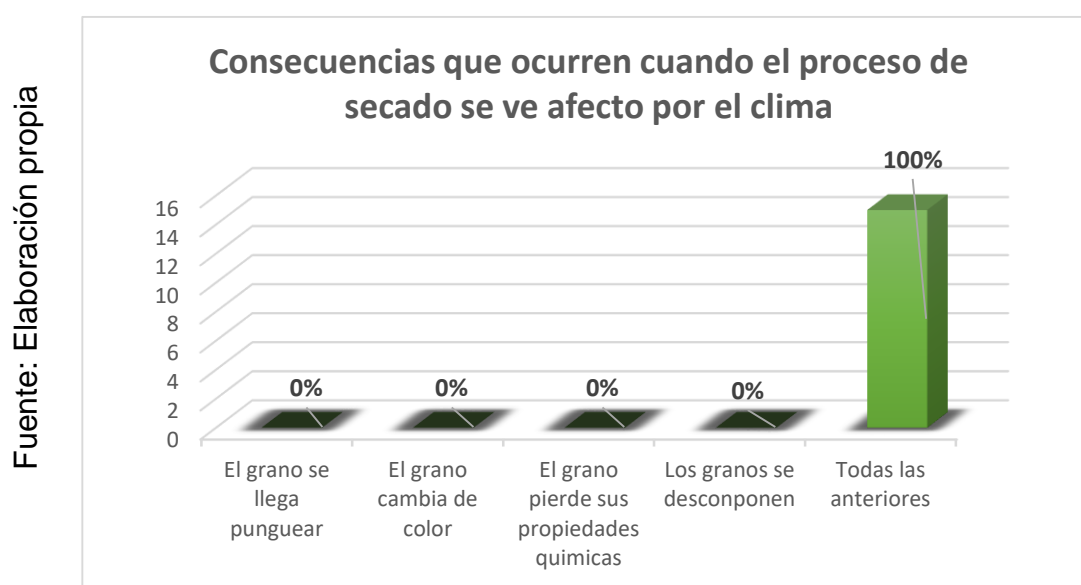


El 73% de los productores de cacao tardan un promedio de tres a cuatro días en secar las almendras de cacao, esto es debido a que solo 8 horas se exponen los granos de cacao a la radiación solar, por otra parte, el 13% se ve afectado por el cambio climático repentino, lluvias inesperadas, cielo nublados y disminución de intensidad de radiación solar, mientras que el 7% de los agricultores llegan a realizar el proceso de secado en un lapso de dos días, esto se debe a que realizan una buena etapa de fermentación, los granos de cacao pasan al proceso de secado con una humedad inicial de 55%, esto quiere decir que la gran mayoría de lo cacaoteros de Aramango – Amazonas no realizan una buena fermentación de almendras de cacao, por tal motivo es que se ven afectados directamente en la calidad de los granos de cacao. En consecuencia, estos defectos que ocurren en la etapa de secado se ven reflejado en el precio de venta del producto final.

3.1.3. ¿Qué sucede cuando no se llega a realizar a tiempo el proceso de secado de almendras de cacao?

son muchas las consecuencias por las que se ven afectadas los granos de cacao, un buen producto de cacao empieza desde la etapa de siembra hasta el producto final, todo aquello intervienen muchos factores como el cuidado continuo, el manejo adecuado, el control de plagas - insectos, los tipos de abonos para cada tipo de planta de cacao y principalmente realizar una buena etapa de post cosecha de mazorcas de cacao.

Figura 31



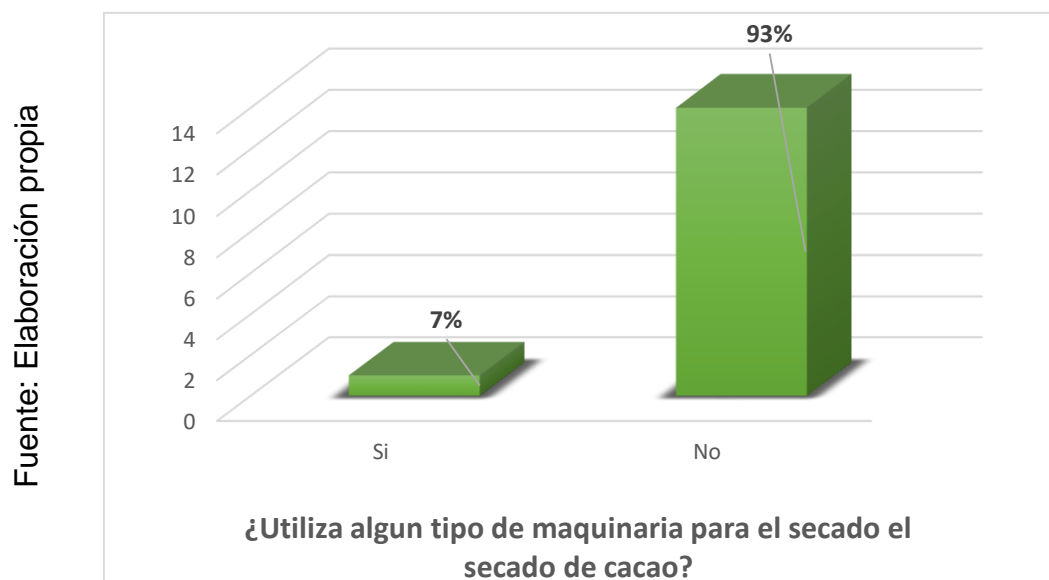
Resultado estadístico que afecta el clima en el secado

De acuerdo al grafico estadístico observamos que las principales consecuencias que afectan directamente a las almendras de cacao, son los malos métodos de secado, los granos de cacao se llegan a puntear, cambian de color, su aroma es muy diferente con respecto al buen producto, internamente pierden sus propiedades químicas, se pudren, estos defectos surgen específicamente por el cambio climático inesperado, también por el almacenamiento incorrecto aun cuando los granos no se deshidratan hasta el 7 % de humedad, también por las pocas horas de exposición de granos de cacao a la radiación solar. Siendo una de las razones principales por las cuales se realiza esta tesis en base a estos defectos, con el fin de disminuir los daños que ocurren en el proceso de secado.

3.1.4. ¿Utiliza algún tipo de máquina para el secado de granos de cacao?

El proceso de secado de los granos de cacao es una de las etapas más principales de la post cosecha, este proceso se debe de realizar adecuadamente con el fin de obtener un buen producto de calidad.

Figura 32



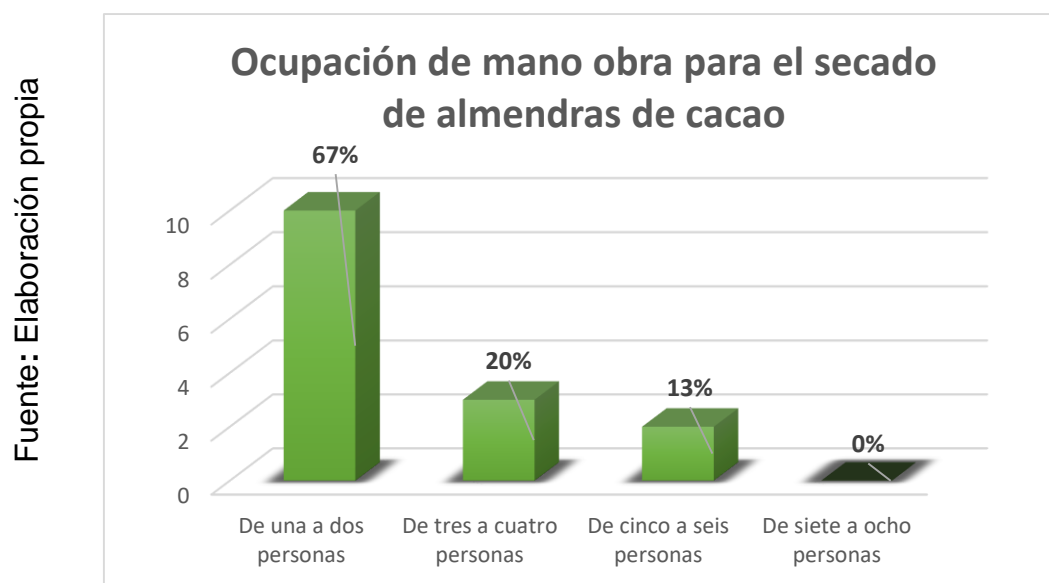
Resultado estadístico del uso de algún tipo de máquina para el secado de almendras de cacao

El 93% de los productores de cacao no usa ningún tipo de maquinaria para el secado de granos de cacao, debido a que solo realizan el proceso de secado de forma natural, la cual consta en la exposición directa al sol, la gran mayoría de ellos solo conocen ese método, a causa de que no cuentan con el conocimiento tecnológico para el secado y además carecen de capacitaciones continuas sobre el manejo de cultivo de cacao, mientras que el 7% si conocen algún otro método de secado pero no son lo suficientemente eficaces, estos son realizados mediante tendales solares, la cual consta de una techo en forma de túnel cubierta por un plástico transparente, es así que realizan el proceso de secado mediante el efecto invernadero, aunque mejoran un poco la calidad de cacao, pero este método no es muy eficiente ya que tiene grandes desventajas, porque solo se aprovecha de una pequeña cantidad de radiación solar.

3.1.5. ¿Cuántas personas necesita para realizar el secado de cacao por cada quintal, utilizando el secado de forma natural al sol?

Al realizar el proceso de secado de almendras de cacao de forma natural, se necesita estar al cuidado constantemente, debido a las constantes amenazas que le pueden afectar a los granos de cacao.

Figura 33



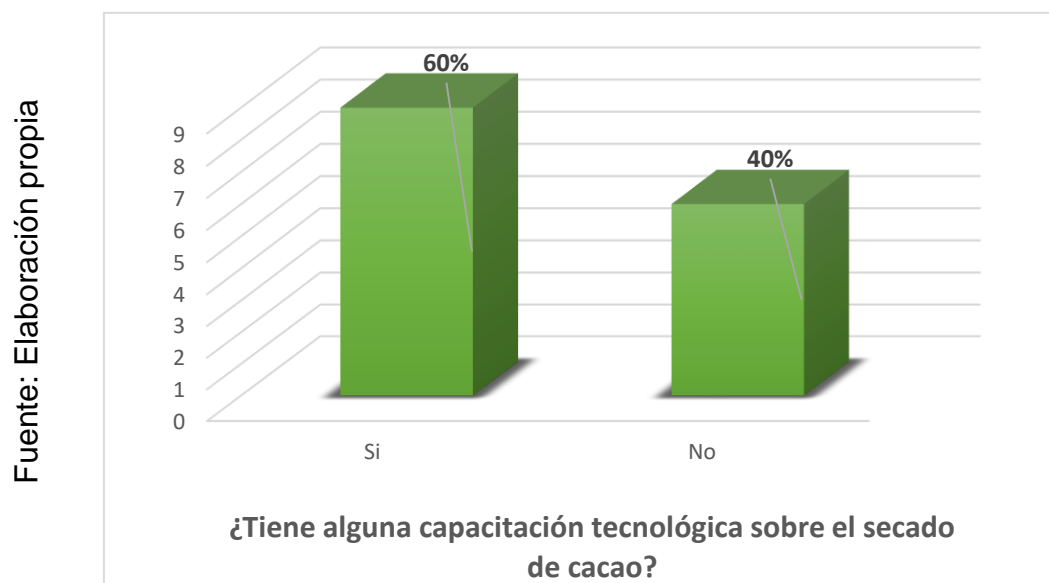
Resultado estadístico de la ocupación de mano de obra

Comúnmente el 67% de los cultivadores de cacao necesitan más de una persona para realizar el proceso de secado de cacao de forma natural, ya que se requieren de cuidados constantes a causa de que pueden ser afectados por algunos animales de corral y otros hongos, afectando directamente a los granos de cacao, mientras que el 20% de ellos requieren más de tres personas para realizar el proceso de secado de cacao, esto quiere decir que también depende de la cantidad de granos de cacao a secar, por otra parte el 11% dice que necesitan hasta cinco o seis personas para secar unos 10 quintales de almendras de cacao. Esto nos quiere decir que aquellas personas deben de intervenir de forma intermiten en el proceso de secado, ya que además de cuidado se necesitan estar constan mente volteando las masas de cacao con el fin que el secado se realice uniformemente.

3.1.6. ¿Tiene alguna capacitación tecnológica sobre el secado de cacao?

Amazonas se caracteriza por ser una zona de bajos recursos económico donde gran parte de su población se dedican a la agricultura, cultivan maíz, cacao, café, plátanos, piñas y otros productos.

Figura 34



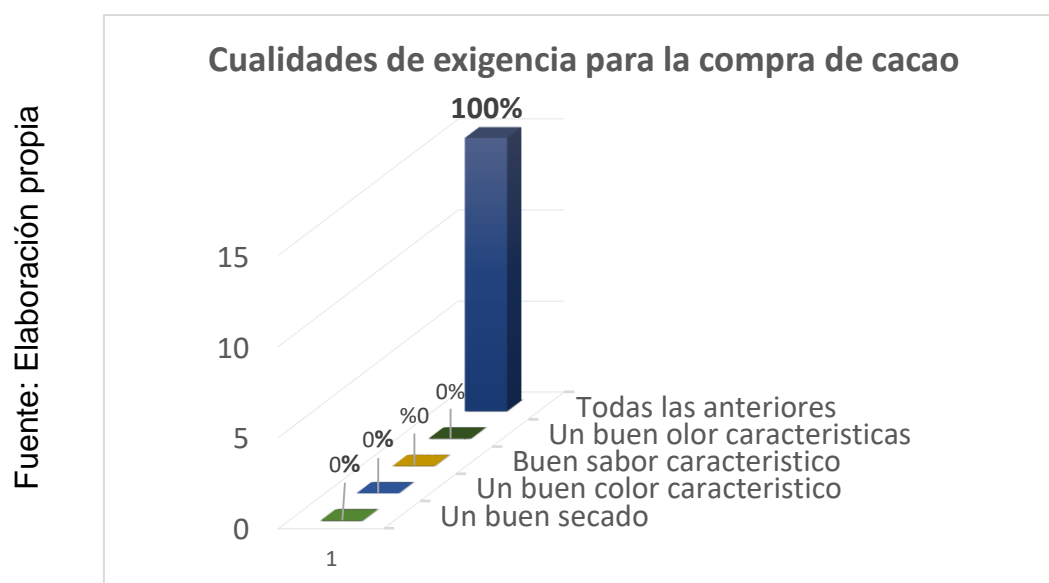
Resultado estadístico de capacitación del manejo de cultivo de cacao

Tal es así que el 60% de productores de cacao solo realizan el manejo de cacao de manera empírica, basándose principalmente en las experiencias prácticas que les dejaron sus ancestros, esto nos quiere decir que realizan el proceso de secado de cacao de forma inadecuada, una parte ellos solo cuentan con educación primaria incompleta, con lo cual se les hace a un más difícil capacitarse más sobre el cultivo de cacao, comúnmente son a aquellos agricultores que cuentan con una edad mayor a 40 años, mientras que el 40% si tienen alguna capacitación tecnológica básica sobre los tipos de métodos de secados de cacao, por el cual estas capacitaciones no es de mucha ayuda, por motivo de que solo se les capacitan principalmente el secado de granos de cacao en techos solares o comúnmente llamados tendales, siendo una de las grandes desventajas para obtener un buen producto de calidad.

3.1.7. ¿Cuáles son las cualidades principales que exigen los comerciantes, en el momento de realizar la compra de los granos de cacao?

En esta última parte de la etapa post cosecha del cacao es donde más se ven reflejados las consecuencias de realizar un mal proceso de secado de almendras de cacao, se ven afectados directamente en el precio de compra, ya que el costo depende del tipo de calidad que presenten los granos de cacao.

Figura 35



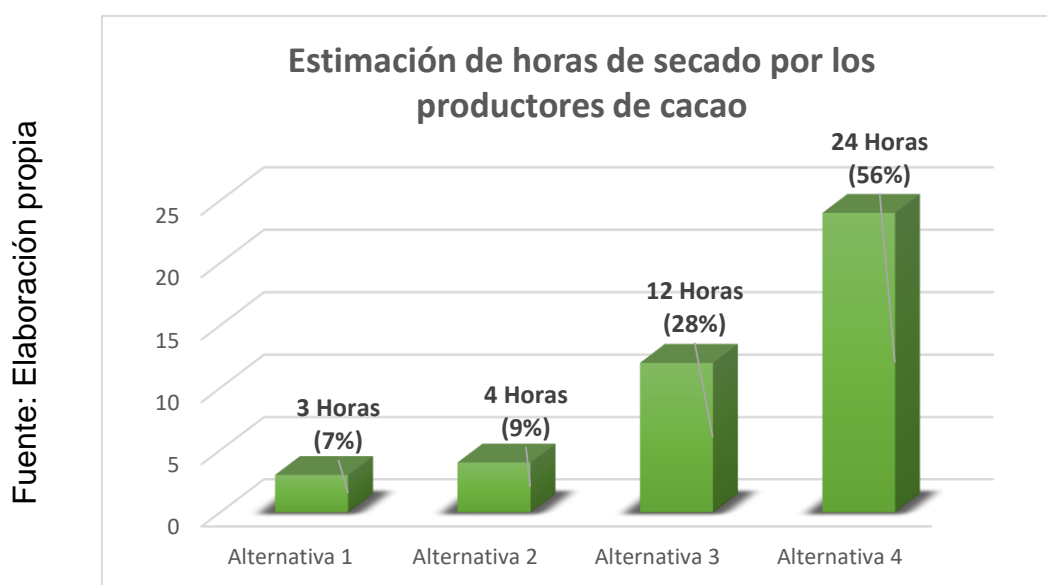
Resultado estadístico de las cualidades de un producto de calidad

Los comerciantes son muy exigentes en el momento de realizar la compra de almendras de cacao, principalmente se fijan en características específicas que deben de tener los granos de cacao, se necesita de un olor, un buen sabor, el color característico y un buen secado, con un grado de humedad del 7% - %8, todos estos factores son evaluados por cada tipo de comprador, ya que principalmente dependen del grado de calidad, según como este los granos de cacao le pagan a un precio, al no cumplir con las cualidades exigentes, les cancelan a un precio mucho menor de lo normal. la gran mayoría de los agricultores sustentan su hogar específicamente de la venta de sus productos agrícolas, al producir un cacao de mala calidad se ven afectados directamente en el costo de la canasta familiar.

3.1.8. ¿Si Ud. quisiera comprar una máquina para realizar el proceso de secado de cacao, en cuanto tiempo desearía que pudiera realizar el proceso de secado sin alterar sus características del mismo?

Esta estimación de tiempo de secado, se realizó principalmente, en la necesidad de comprar alguna maquina secadora, con el fin de obtener más beneficios y sequen sus granos de cacao en un tiempo específico sin alterar sus propiedades químicas.

Figura 36



Resultado estadístico de estimación de duración del secado de cacao

Para estimar estos tiempos de secado, principalmente los agricultores se basaron las experiencias por sus antecesores, las capacitaciones brindadas sobre el secado solar, tal es así que no se vean a afectadas sus características químicas, el 56% de los encuestados mostraron interés en que si tuvieran que comprar un maquina secadora, desearían que el proceso de cacao se realizar en un lapso de 24 horas, con el fin de no perjudicar las propiedades químicas del cacao, se tendría que realizar el proceso de secado de almendras de cacao de manera lenta hasta alcanzar la humedad final de los granos de cacao, esta estimación es muy posible ya el agrado de evaporación de un cuerpo se realiza de forma más rápido, esto es debido a que la humedad relativa del aire es muy favorable para realizar el proceso de deshidratación, mientras que el 28% de los agricultores prefieren que sus productos se seque en 12 horas como aproximado.

3.1.9. Conclusión del primer objetivo: Realizar una evaluación de los procesos de secado de almendras de cacao

La evaluación de los procesos de secado de almendras de cacao. Se realizó mediante un cuestionario de encuestas, de donde se obtuvo una buena información por parte de los agricultores del Distrito de Aramango, los mismos que se mostraron muy interesados en conocer el proceso de deshidratación de cacao mediante energía solar, ya que la gran mayoría desconocen el uso de la energía solar. En general los productores de cacao del Distrito de Aramango, el 80% de la muestra, realiza el proceso de secado de cacao mediante carpas, la cual consiste en la exposición directa de las almendras de cacao al sol, el 13% realizan proceso de cacao actualmente en áreas cementada y el 7% restante realiza el proceso de secado en tarimas, la misma que es un proceso más mejorado, pero que aún tiene deficiencias.

Actualmente se tardan en secar los granos de cacao de tres a cuatro días, quiere decir que el 75% demora este tiempo en secar los granos de cacao, el 13% se ve afectado por el cambio repentino del clima, y el 7% de la población restante logra secar los granos de cacao en dos días.

A consecuencia del cambio repentino del clima, los granos de cacao, pierden sus cualidades, y por ende su calidad, ya que el cacao es un material higroscópico, esto quiere decir que absorbe humedad del exterior, la cual ocasionan varios defectos.

EL 93% de los productores de cacao no conocen algún tipo de secado tecnológico, debido a que muchos de ellos no son capacitados para el secado de cacao, y el 7% de ellos si conoce algún otro tipo de secado, pero los mismos que no suficientemente eficaces para el secado de almendras de cacao.

La cantidad de mano de obra utilizada para el proceso de secado de granos varía dependiendo de la cantidad de masa a desecar, el tipo de ambiente y el tipo de secado, el 67% de ellos, necesitan de dos personas para secado de cacao.

En propuesta de compra de un secador de granos de cacao, se les consultó a los productores de cacao, en cuanto sería el tiempo necesario para que se sequen los granos de cacao, sin que este afecte sus propiedades del cacao, con lo cual se obtuvo un promedio de 24 horas necesarias para secado de cacao.

3.2.1. Por la ubicación geográfica de utilización del deshidratador

Figura 37

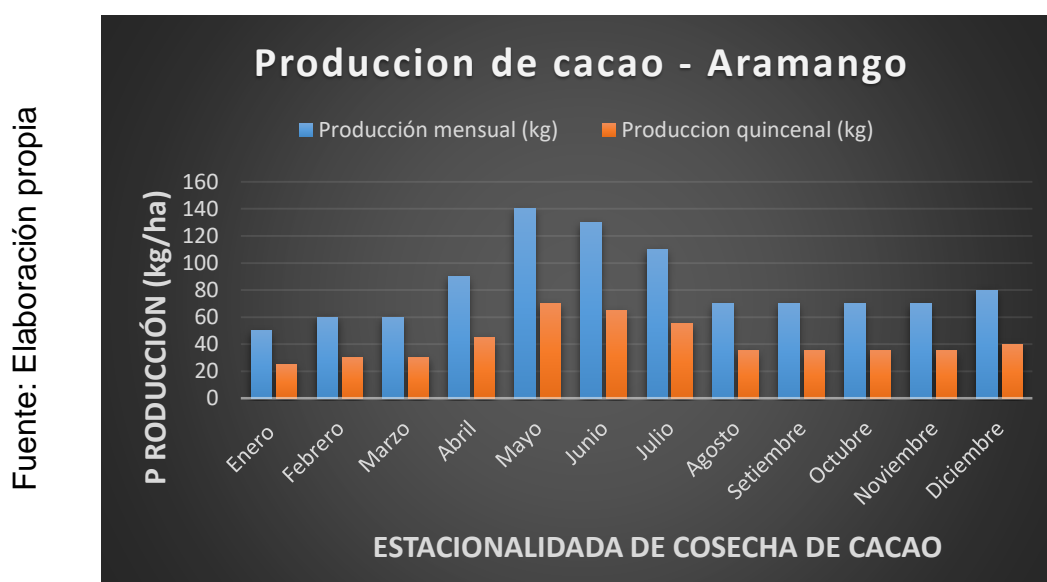


3.2.2. Por la capacidad de producción de cacao del distrito Aramango

El distrito de Aramango actualmente el rendimiento de cacao por hectárea, varía según el tipo de cultivo de cacao, que tienen que ver con el nivel tecnológico en el cuidado de la planta de cacao. El 60% de cultivadores de cacao obtienen un rendimiento promedio de 600 kg/ha, el 25% obtiene un rendimiento promedio de 400 kg/ha, y el 15% de los agricultores mayormente logra rendimientos superiores a los 600 kg/ha.

En la actualidad ya existen plantaciones que superan estos rendimientos estadísticos de producción de cacao, llegando a superar los 1000 kg/ha. Ya que la fuente estadística por MINAGRI, no se ha actualizado recientemente.

Figura 38



Estadística del rendimiento mensual y quincenal de una hectárea de cacao

Estadísticamente la estacionalidad de cosecha de cacao se encuentra con mayor producción en los meses de abril, mayo, junio y julio, mientras que el resto de meses la capacidad de producción disminuye, la cosecha naturalmente se realiza cada 15 días del mes, esto depende principalmente de la variedad del cacao, de la variación climática, del mantenimiento cuidado del cultivo de cacao.

Para el diseño del deshidratador solar asumiremos desecar una masa de 250 kg, de cacao fermentado, con una humedad inicial de 60%, y reducirlo hasta 7% de humedad final.

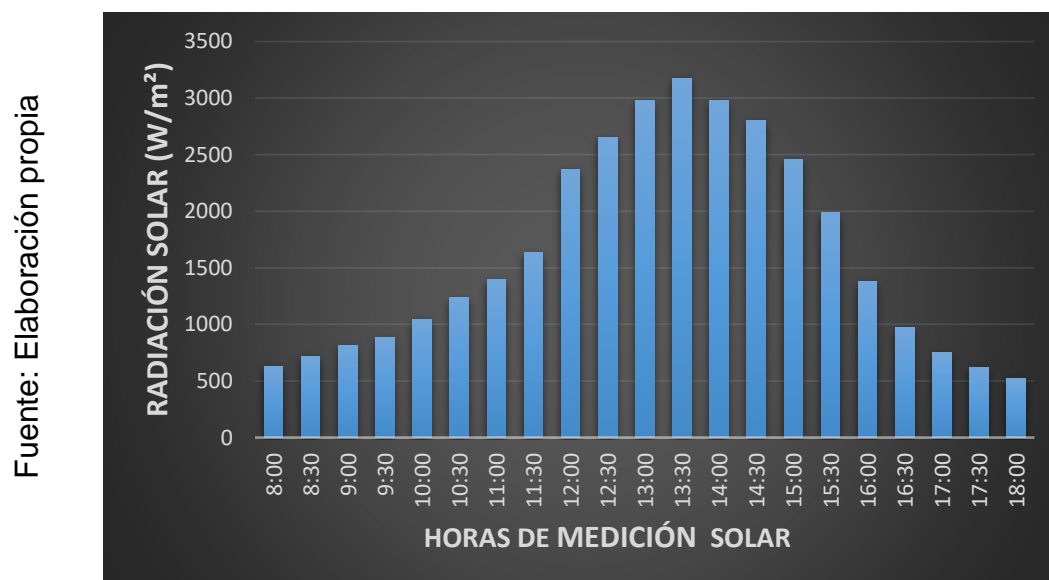
3.2.3. Por la tecnología a utilizar

Para el diseño del deshidratador solar se utilizará tecnología nacional, con los recursos más bajos posibles, para que el costo de producción sea lo más accesible por los agricultores, con el fin de que pueden generar mayores ingresos a sus familias. los materiales que se necesitaran para el diseño del deshidratador solar, se consiguieran el mercado propio, debiendo de contar con materiales que garanticen el buen funcionamiento del activo, ya que depende principalmente de la energía solar.

3.2.4. Por la disponibilidad de radiación solar

La irradiación solar disponible en el Distrito de Aramango- Amazonas, se midió en un lapso de seis días, obteniendo mediciones desde las 8:00 am, hasta las 18:00 pm, por cada media hora, con la finalidad de obtener los mayores datos posibles, y así verificar que tanto varia la radiación durante el día. Los datos de radiación se evaluaron con el Solarímetro digital (SM206), los detalles del Solarímetro esta adjuntado en los anexos. La radiación solar de todo el año está en los anexos.

Figura 39



Irradiación solar disponible en Aramango

Valor pico máximo de irradiación que se encontró en el Distrito Aramango fue de $3176 W/m^2$, este valor se reflejado en el grafio estadístico, en la hora pico de 1:30 pm de la tarde, y con un valor mínimo de $525 W/m^2$.

3.2.5. Conclusión del segundo objetivo: determinar la capacidad de procesamiento de secado de granos de cacao

El diseño del deshidratador solar, realizara sus funciones para cual fue planteado, en el distrito Aramango, Provincia Bagua Capital, departamento Amazonas. Se ubica en una latitud sur de (5° 25' 10.5"), con una longitud oeste de (78° 26' 10.1") y una altitud de (517 m.s.n.m).

El 60% de cultivadores de cacao obtienen un rendimiento promedio de 600 kg/ha, el 25% obtiene un rendimiento promedio de 400 kg/ha, y el 15% de los agricultores mayormente logra rendimientos superiores a los 600 kg/ha. En la actualidad ya existen plantaciones que superan estos rendimientos estadísticos de producción de cacao, llegando a superar los 1000 kg/ha.

Para el diseño del deshidratador solar asumiremos desecar una masa de 250 kg, de cacao fermentado, con una humedad inicial de 60%, y reducirlo hasta 7% de humedad final.

El diseño del deshidratador solar se realizar con la tecnología nacional, con los recursos más bajos posibles, para que el costo de producción sea lo más accesible por los agricultores, con el fin de que pueden generar mayores ingresos a sus familias.

La irradiación solar en el Distrito de Aramango- Amazonas, se midió en un lapso de seis días, obteniendo mediciones desde las 8:00 am, hasta las 18:00 pm, por cada media hora, con la finalidad de obtener los mayores datos posibles. Los datos de radiación se evaluaron con el Solarímetro digital (SM206), los detalles del Solarímetro esta adjuntado en los anexos.

Las mediciones realizadas de radiación solar que se obtuvo un valor máximo de 3176 W/m^2 , en la hora pico de 1:30 pm de la tarde, y con un valor mínimo de 525 W/m^2 , a las 8:00 am.

3.3. Calcular la cantidad de radiación solar disponible en Aramango

El distrito de Aramango se encuentra ubicado en una latitud sur de ($5^{\circ} 25' 10.5''$), con una longitud oeste de ($78^{\circ} 26' 10.1''$) y una altitud de (517 m.s.n.m). Para realizar los cálculos necesarios de irradiación solar, se estimará el 15 de mayo en referencia al día juliano de la tabla 1, la cual se encuentra citada en las teorías relacionadas al tema.

i, es el día más representativo del mes de mayo (tabla 1)

$$i=15$$

$$n = 120 + i = 135$$

3.3.1. Radiación solar extraterrestre para un día “n”

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \frac{360 * n}{365} \right)$$

$$G_{on} = 1353 \left(1 + 0,033 \cos \frac{360 * 135}{365} \right) = 1322,4 \text{ W/m}^2$$

Donde:

G_{on} Constante de radiación para el día “n” (W/m^2)

G_{sc} Constante solar (1353 W/m^2)

n Número del día del año

3.3.2. Declinación solar

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right)$$

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284 + 135}{365} \right) = 18,8^{\circ}$$

3.3.3. Angulo horario de salida del sol

$$\omega_s = \arccos(-\tan \delta * \tan \phi)$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan(18,8^{\circ}) * \tan(5,419^{\circ})) = 91,85^{\circ}$$

Donde:

ω_s Angulo horario de salida del sol (grados)

Φ Latitud (5,419°)

3.3.4. Número de horas de brillo solar

$$N = \frac{2\omega_s}{15} = \frac{2(91,85^\circ)}{15} = 12,25 \text{ horas}$$

Donde:

N Número de horas de brillo solar

3.3.5. Angulo cenital (θ_z)

Es el ángulo horario del desplazamiento angular del sol, la cual de desplaza es de 15° por hora o 360° en 24 horas. Entonces decimos que por definiciones astronómicas el medio día solar $\omega = 0$, cuando sean las 12 horas civiles.

$$\cos \theta_z = (\cos \delta * \cos \phi * \cos \omega) + (\sin \delta * \sin \phi)$$

$$\cos \theta_z = (\cos (18,8^\circ) * \cos(5,419^\circ) * \cos (0)) + (\sin 18,8^\circ) * \sin(5,419^\circ)$$

$$\cos \theta_z = 0,973$$

$$\theta_z = \cos^{-1}(0,973) = 13.34^\circ$$

3.3.6. Altura solar

$$\sin a_s = \cos \theta_z = \cos(13.34^\circ) = 0,973$$

$$a_s = 76,65^\circ$$

3.3.7. Azimut solar

$$\cos \gamma_s = \frac{\sin a_s * \sin \phi - \sin \delta}{\cos a_s * \cos \phi}$$

$$\cos \gamma_s = \frac{\sin(76,65^\circ) * \sin(5,149^\circ) - \sin(18,8^\circ)}{\cos(76,65^\circ) * \cos(5,419^\circ)} - 1$$

$$\gamma_s = 180^\circ$$

3.3.8. Radiación solar fuera de la atmosfera en una superficie horizontal

$$G_O = G_{sc} * F_n = G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 * n}{365} \right) \right] \cos \theta_z$$

$$G_O = 1353 \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 * 135}{365} \right) \right] \cos(13.34) = 1286,8 \text{ W/m}^2$$

Donde:

G_O Radiación en cualquier punto fuera de la atmosfera (W/m^2)

G_{sc} Constante solar ($1353 W/m^2$)

n Día del año ($n=135$) del día 15 de mayo, fecha de análisis.

Esta cantidad de radiación extraterrestre depende principalmente de la latitud (ϕ) del lugar a calcular, del Angulo horario (ω) y del día del año (n).

3.3.9. Radiación solar horaria incidente en una superficie horizontal

Calculamos la cantidad de radiación incidente, en una hora, sobre una superficie horizontal. Cuando ($\omega=0$), para las 12:00 del horario civil.

$$I_{oh} \simeq I_{cs} * F_n (\cos \delta * \cos \phi * \cos \omega + \sin \delta * \sin \phi)$$

$$I_{oh} \simeq 1353 * 1.03 (\cos(18,8^\circ) * \cos(5,419^\circ) * \cos(0) + \sin(18,8^\circ) * \sin(5,419^\circ))$$

$$I_{oh} = 1355,76 W/m^2$$

Donde:

I_{oh} irradiación indicendente sobre una superficie horizontal en una hora

I_{cs} radiación solar ($1353 W/m^2$)

Irradiación solar diaria incidente sobre una superficie horizontal. (analizamos para el 01 de mayo, donde ($n = 121$))

$$H_{ho} = \left(\frac{24}{\pi}\right) G_{sc} \left\{ \left[1 + 0,33 \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right) \right] \left[\cos \phi * \cos \delta * \text{Sen} w_s + \left(\frac{2\pi}{360}\right) \text{sen} \phi * \text{Sen} \delta \right] \right\}$$

$$H_{ho} = \left(\frac{24}{\pi}\right) 1353 \left\{ \left[1 + 0,33 \cos\left(\frac{360 * 121}{365}\right) \right] \left[\cos(5,419) * \cos(18,8) * \text{Sen}(91,85) + \left(\frac{2\pi}{360}\right) \text{sen}(5,419) * \text{Sen}(18,8) \right] \right\}$$

$$H_{ho} = 9583,94 W/m^2$$

Donde:

H_{ho} Radiación diaria indicendente sobre una superficie horizontal (W/m^2)

Irradiación solar promedio mensual incidente sobre una superficie horizontal. (analizamos para el 15 de mayo, donde ($n = 135$))

$$\bar{H}_{ho} = \left(\frac{24}{\pi}\right) 1353 \left\{ \left[1 + 0,33 \cos\left(\frac{360 * 135}{365}\right) \right] \left[\cos(5.419) * \cos(18.8) * \sin(91.85) \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{2\pi}{360}\right) \sin(5.419) * \sin(18.8) \right] \right\}$$

$$\bar{H}_{ho} = 9521,61 \text{ W/m}^2$$

3.3.10. Angulo de incidencia para superficies planas

superficies horizontales $\beta = 0^\circ$ y $\theta = \Phi$

superficies verticales $\beta = 90^\circ$

$$\cos\theta_T = \cos(\Phi - \beta)\cos\delta * \cos\omega + \sin(\Phi + \beta)\sin\delta$$

$$\cos\theta_T = \cos(5,419^\circ - 0^\circ)\cos(18,8) * \cos(0) + \sin(5,419^\circ + 0^\circ)\sin(18,8^\circ) \\ = 0,973$$

$$\theta_T = \cos^{-1}(0,973) = 13.34^\circ$$

Donde:

θ_T Angulo de incidencia de radiación directa

3.3.11. Índice de nubosidad

$$K_T = \frac{H}{H_{ho}} = \frac{6497 \text{ W/m}^2}{9521,61 \text{ W/m}^2} = 0.7$$

Donde:

K_T Relación entre daría sobre y radiación extraterrestre diario

H Radiación total incidente sobre una superficie (W/m^2)

H_{ho} Energía indicendente sobre una superficie horizontal en un día (W/m^2)

3.3.12. Radiación solar media incidente en una superficie horizontal

$$\frac{\bar{H}}{\bar{H}_{ho}} = a + b \frac{\bar{n}}{\bar{N}}$$

$$\bar{H} = K_T * \bar{H}_O \quad \text{ó} \quad \bar{H} = \bar{H}_{ho} \left(a + b * \frac{\bar{n}}{\bar{N}} \right)$$

$$\bar{H} = 9521,61 \left(0,355 + 0,341 * \frac{11,75}{12,25} \right) = 6497 \text{ W/m}^2$$

Donde:

\bar{H} Radiación solar fuera de atmosfera en una superficie plana (W/m^2)

\bar{H}_o Radiación promedio mensual diaria sobre una superficie plana (W/m^2)

a y b Coeficientes máximos de transmisividad. (ver tabla 2)

\bar{n} Promedio mensual de Heliofania o horas de brillo solar

\bar{N} Promedio mensual máximo horas de brillo solar

3.3.13. Índice de claridad

$$k_t = \frac{G_h}{G_{oh}} = \frac{1286,8 W/m^2}{1322,4 W/m^2} = 0.97$$

Quiere decir que para las 12:00 del horario civil del 15 de mayo, el cielo está totalmente despejado

3.3.14. Radiación solar sobre una superficie inclinada

Angulo de Incidencia de una superficie inclinada

$$\cos \theta = \cos(\beta - |\phi|) \cos \delta * \cos \omega + \sin(\beta - |\phi|) \sin \delta$$

$$\cos \theta = \cos(0^\circ - |5,419|) \cos(18.8) * \cos(-30^\circ) + \sin(0^\circ - |5,419|) \sin(18.8)$$

$$\cos \theta = 0.8465$$

$$\theta = \cos^{-1}(0.8465) = 32.16^\circ$$

3.3.15. Angulo horario solar para superficies inclinadas

$$\omega'_s = [\arccos[-\tan \phi * \tan \delta]]$$

$$\omega'_s = [\arccos[-\tan(5,419^\circ) * \tan(18.8^\circ)]] = 80.12^\circ$$

Donde:

ϕ Latitud

δ Declinación solar

3.3.16. Radiación extraterrestre incidente sobre una superficie inclinada

$$I^d_{By} = \frac{24}{\pi} * I_{sc} * F_n(\omega'_s * \sin \delta * \sin(\beta - \phi) + \cos \delta * \cos(\beta - \phi) * \sin \omega'_s)$$

$$I^d_{By} = \frac{24}{\pi} * 1353 * 1,03(80,12^\circ * \sin(18,8^\circ) * \sin(32,16^\circ - 5,419^\circ) + \cos(18,8^\circ) * \cos(32,16^\circ - 5,419^\circ) * \sin(80,12^\circ))$$

$$I^d_{By} = 115154 W/m^2 = 115.5 kW/m^2$$

3.3.17. Conclusión del tercer objetivo: Calcular la cantidad de radiación solar disponible en Aramango

Realizado el desarrollo de las ecuaciones astronómicas, con el fin de obtener un valor referencial de la cantidad de radiación incidente sobre superficies horizontales e inclinadas en Aramango. De acuerdo a la solución de las ecuaciones se cuenta con una duración de 12 horas de brillo solar, con una radiación solar horaria de $1355,76 \text{ W/m}^2$, esto quiere decir que la intensidad de insolación promedio mensual en Aramango es de 6947 W/m^2 , del cual para dicha zona se cuenta con una inclinación de los colectores solares de $32,16^\circ$ de acuerdo a los resultados de las ecuaciones de superficies inclinadas

Las mediciones exactas son tomadas mediante instrumentos de alta gama de precisión. Y que por el cual, los cálculos realizados en la presente tesis son estimaciones, recolectadas de diferentes fuentes de información con una buena base de información científica de la astronomía.

Generalmente las cantidades reales de radiación solar son evaluadas por el Ministerio Nacional de Agricultura y Riego (SENAMHI), ya que esta institución si cuenta con los medios necesarios para obtener con mayor precisión posible la radiación solar incidente en la zona de Aramango, las mismas que serán tomadas para el diseño del deshidratador solar, las evoluciones mensuales y anuales de radiación solar están en los anexos.

3.4. Calcular, diseñar y seleccionar los materiales del deshidratador solar aplicando las teorías científicas existentes.

3.4.1. Criterios para el diseño del deshidratador solar

3.4.1.1. Criterio de nivel térmico

- 3.4.1.1.1. Capturara la mayor cantidad posible de radiación solar
- 3.4.1.1.2. Lograr una elevada absorción de radiación solar en la placa absorbedora del colector solar plano.
- 3.4.1.1.3. Disminuir notablemente las perdidas térmicas en el colector solar.
- 3.4.1.1.4. Almacenar la mayor cantidad posible de energía térmica.

3.4.1.2. Criterio de nivel mecánico

- 3.4.1.2.1. Firmeza del deshidratador solar, al soportar una masa de 250 kg de granos fermentados de cacao.
- 3.4.1.2.2. Comodidad en el momento de montaje y desmontaje del deshidratador solar.
- 3.4.1.2.3. Elevada hermeticidad en la cámara de secado.
- 3.4.1.2.4. Mantenibilidad a bajos costos y fácil de realizar.

3.4.1.3. Criterios de nivel de flujo de aire

- 3.4.1.3.1. Necesidad de flujo constante de aire caliente, en la entrada y salida del proceso.
- 3.4.1.3.2. Controlar la temperatura de secado.

3.4.1.4. Criterio de nivel químico

- 3.4.1.4.1. Pintura especial de la placa absorbedora del colector.
- 3.4.1.4.2. Pintura anticorrosiva para las partes externas del deshidratador
- 3.4.1.4.3. Material aluminio de las bandejas de secado.

3.4.1.5. Criterio de nivel ambiental

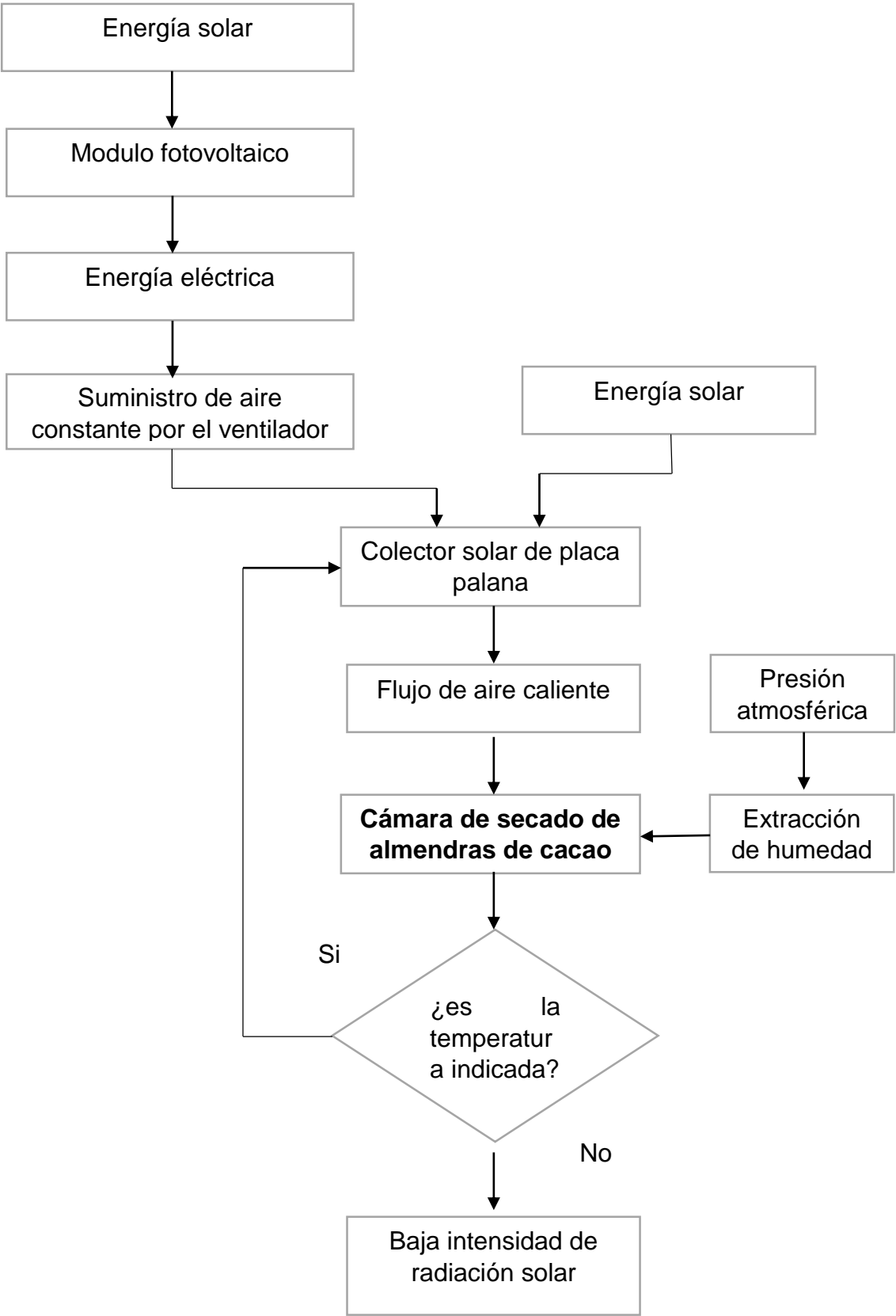
- 3.4.1.5.1. Manejo de las energías renovables.
- 3.4.1.5.2. Disminución de la contaminación ambiental.

3.4.2. Principio de funcionamiento del deshidratador solar

La etapa más importante de funcionamiento del deshidratador solar, está en la cámara de secado de almendras de cacao, con el fin de disminuir la humedad inicial del 60% hasta el 8% de humedad final de los granos de cacao, para ello se necesita de un corriente constante de aire caliente a una determinada temperatura, la cual será proporcionada de energía térmica por medio del colector solar, a la vez el mismo que absorbe radiación solar, tanto directa, como difusa y reflejada.

Inicialmente el colector solar de placa plana empieza a absorber la radiación solar por las cubiertas transparentes, transformando la energía solar en energía térmica mediante la placa absorbedora del colector, la cual es alimentado por el ventilador con una corriente constante de flujo de aire, el mismo que fluye hacia el colector, elevando así su temperatura inicial hasta cierto límite, el aire caliente pasa por el acumulador de energía térmica, echa a base de lechos de rocas, las mismas que almacenan cierta cantidad de energía térmica producida durante las horas de brillo solar, para luego ser aprovechada cuando lo requiera el proceso de secado, posteriormente el aire caliente que sale del acumulador térmico, pasa a la cámara de secado de almendras de cacao, ya que los granos de cacao se posicionan en charolas o bandejas, entonces al pasar la corriente de aire caliente por las superficies de los granos cacao, este lleva consigo mismas pequeñas cantidades de vapor de agua del grano, extrayendo así la humedad inicial de 60% hasta un 7% - 8% de humedad final, controlando así la temperatura y velocidad de secado de almendras de cacao, ya que al estar en equilibrio térmico los granos de cacao con la cámara de secado, este empezara a perder humedad contenida internamente mediante una velocidad constante; cuando los granos de cacao alcancen la humedad critica, la velocidad de secado disminuye constantemente hasta la humedad de equilibrio del mismo. Los sensores de humedad, temperatura y presión recolectaran las señales analógicas del proceso de secado, las cuales estos valores pasan a un tablero de control electrónico, ya que el sistema es programable, con el fin de obtener un buen secado de granos de cacao. Siendo alimentado el deshidratador por energía solar mediante la radiación incidente sobre la superficie inclinada del colector. Los paneles solares proporcionaran energía eléctrica a los sensores.

3.4.3. Diagrama de flujo del deshidratador solar de almendras de cacao.



3.4.4. Datos de entrada para los cálculos de diseño del deshidratador solar.

Datos de entrada para el diseño

Masa de almendras a secar 250 kg

Humedad inicial del cacao fermentado $X_i = 60\%$

Humedad final del cacao seco $X_f = 8\%$

Humedad relativa del ambiente 70%

Temperatura ambiente 27°C, tomada durante todo el mes de marzo. Anexos

Densidad del cacao 250 kg/m³

Temperatura de secado 60°C – 65°C, esta temperatura es tomada en base a investigaciones de laboratorio de fuentes confiables, la cual es realizada generalmente para los procesos de transformación del grano solido en chocolates u otros productos.

El calor específico del cacao, es resuelto mediante las propiedades termodinámicas, las cuales están relacionadas con el equilibrio de un sistema.

$$C_{pc} = 1,675 + 0,025 * \frac{Hbh}{100} = 1,675 + 0,025 * \frac{60}{100} = 1,69 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

para realizar el proceso de secado necesitamos conocer las isotermas de sorción de las almendras de cacao. Según Henderson es su ecuación de humedad equilibrio, levanto varias formas de establecer la humedad del cacao, del cual, de después de varias pruebas de secado de cacao, estableció ciertos criterios para evaluar la ecuación de equilibrio.

$$X_e = \frac{1}{100} \left[\frac{\ln(T_a - 1)}{-C_1 * (T_s + C_2)} \right]^{1/C_3} = \frac{1}{100} \left[\frac{\ln(27 - 1)}{-(4,1942 \times 10^{-5})(60 + 0)} \right]^{1/2,7296} = 9.77\%$$

Donde: C_1 , C_2 y C_3 son parámetros de la ecuación Henderson.

$$C_1 = 4,1942 \times 10^{-5}$$

$$C_2 = 0.0$$

$$C_3 = 2.7296$$

3.4.5. Determinación de las dimensiones de la cámara de secado de granos de cacao.

En base a los cálculos realizados anteriormente determinamos el área de la cámara de secado de almendras de cacao, en base a una masa de 250 kg. El espesor de la cama de secado es recomendable de 5 cm a 15 cm, esto quiere decir que mientras más delgada sea el espesor de cama de secado, más distribuido se realizara el proceso de secado, y por consecuencia el tiempo de secado será más rápido.

$$A_s = \frac{masa_{cacao}}{\rho_{cacao} * e_{cama}}$$
$$A_s = \frac{250 \text{ kg}}{250 \text{ kg/m}^3 * 0.05\text{m}} = 20 \text{ m}^2$$

Donde:

A_s Área de la cámara de secado de granos de cacao (m^2)

ρ_{cacao} Densidad de almendras de cacao (250 kg/m^3)

e_{cama} Espesor de la cama de secado de granos de cacao (m)

Tenemos una área de secado de 20 m^2 , la misma que se distribuirá en varias bandejas de secado, con el fin de optimizar el espacio en la cámara de secado, y lograr una mayor concentración de calor. Para el cálculo de la cantidad de bandejas a secar lo resolveremos de la siguiente manera, donde dividiremos el área de secado sobre el área de las bandejas. Asumiremos una bandeja de $2\text{m} \times 2\text{m}$, esto nos da una área efectiva de 4 m^2

$$N_b = \frac{A_s}{A_b} = \frac{20 \text{ m}^2}{4 \text{ m}^2} = 5 \text{ bandejas}$$

Donde:

N_b Número de bandejas

A_b Área de una bandeja (m^2)

En conclusión, necesitaremos 5 bandejas de $2\text{m} \times 2\text{m}$

3.4.6. Importe de agua a separar de las almendras de cacao

Inicialmente se deseca una masa de cacao de 250 kg, con una humedad inicial de 60% de cacao fermentado, y con una humedad final de 8% de granos secos de cacao.

Entonces encontramos la cantidad de agua de las almendras de cacao.

$$\text{masa}_{\text{agua inicial}} = X_i * \text{masa de cacao a secar}$$

$$\text{masa}_{\text{agua inicial}} = 0.6 * 250 = 150 \text{ kg}$$

Entonces encontramos la cantidad de masa restante de las almendras de cacao.

$$\text{masa}_{\text{seca}} = \text{masa}_{\text{de secado}} - \text{masa}_{\text{agua inicial}}$$

$$\text{masa}_{\text{seca}} = 250 \text{ kg} - 150 \text{ kg} = 100 \text{ kg}$$

Hallando el contenido de humedad final, hasta obtener una la humedad final requerida del 8%.

$$\text{masa}_{\text{agua final}} = \frac{X_f * \text{masa}_{\text{seca}}}{1 - X_f} = \frac{(0,08)(100 \text{ kg})}{1 - 0.08} = 8,7 \text{ kg}$$

Entonces la cantidad de agua a evaporar de los granos de cacao es:

$$\text{masa}_{\text{agua a evaporar}} = \text{masa}_{\text{agua inicial}} - \text{masa}_{\text{final}}$$

$$\text{masa}_{\text{agua a evaporar}} = 150 \text{ kg} - 8,7 \text{ kg} = 141,3 \text{ kg}$$

Entonces se necesita retirar una masa (141,3 kg) de agua, esto es igual a 141,3 litros de agua.

Hallamos la cantidad de masa final de cacao en el deshidratador.

$$\text{masa}_{\text{seca de cacao final}} = \text{masa}_{\text{seca}} - \text{masa}_{\text{final}}$$

$$\text{masa}_{\text{seca de cacao final}} = 100 \text{ kg} - 8,7 \text{ kg} = 91,3 \text{ kg}$$

Entonces decimos que la cantidad de masa de agua a retirar es 141,3 litros de agua, en una masa de 250 kg de cacao fermentado. Seguidamente encontramos la cantidad de energía necesaria para el proceso de secado, en base a esto partiremos a calcular los diferentes calores inmersos en el secado.

3.4.7. Calores sumergidos en el proceso de secado.

Para encontrar los calores inmersos en el sistema, se necesitan de varios parámetros importantes como la masa, temperatura y humedad, con fin de obtener los resultados de transferencia de calor en el proceso de secado.

Calculo del calor sensible para el cacao.

$$Q_s = m * C_p(T_s - T_a)$$

$$Q_s = 141,3 \text{ kg} * 1,69 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} (60^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}) = 7880,301 \text{ kJ}$$

Calculo del calor latente de evaporización del agua

Entalpia de evaporización del agua

$$H_{fg} = (2502.4 - 2.42958 * T)[1 + 1.44408 \exp(-21.5011 * X)]$$

$$H_{fg} = (2502.4 - 2.42958 * (60))[1 + 1.44408(-21.5011 * 0.6)]$$

$$H_{fg} = 2337,996 \text{ kJ/kg}$$

Calor latente

$$Q_L = \text{masa}_{\text{agua a evaporar}} * H_{fg}$$

$$Q_L = 141,3 \text{ kg} * 2337,96 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 330353,75 \text{ kJ}$$

Entonces el calor producido por el calor sensible y latente queda de la siguiente manera.

$$Q_{Prod.} = Q_s + Q_L$$

$$Q_{Prod.} = 7880,301 \text{ kJ} + 330353,75 \text{ kJ} = 338234 \text{ kJ}$$

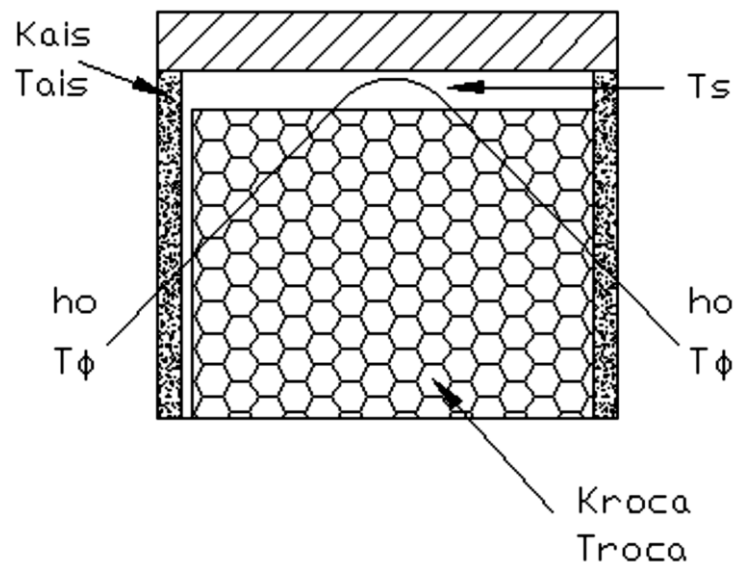
Seguidamente hallamos las perdidas térmicas que inciden durante el proceso de secado, del cual la cámara de secado esta provista por planchas de aluminio perforadas, con el fin de evitar oxidaciones, y que pueda contaminar los granos de cacao, también vemos que existen perdidas por transferencia de calor, mediante convección y conducción, desde la pared más cercana, el aislamiento térmico y la cubierta externa del secador, que está construida a base de madera, ya que la

madera tiene una baja conductividad térmica. Para hallar las pérdidas térmicas por transferencia de calor mediante convección es necesario calcular el coeficiente de convección, para ello necesitamos conocer la velocidad del viento.

El Senamhi en base a datos estadísticos muestra un velocidad del viento $V_v = 2.7\text{m/s}$, en el distrito de Aramango. Donde estas muestras de medición se realizan a una altura de 10 m, con el cual esto requiere un ajuste para la velocidad del viento, ya que el deshidratador solar no es estará a 10 metros de altura sobre la faz de la tierra. Este contexto teórico está sustentado por la Organización meteorológica Mundial (OMM).

Figura 40

Fuente: Juan P. Maureira



Perdidas térmicas en la cámara de secado, debido a la transferencia de calor por conducción y convección,

Entonces el coeficiente de convección del exterior queda de la siguiente manera.

$$h_e = 5,7 + 3,8 * V_v$$

$$h_e = 5,7 + 3,8(2.7 \text{ m/s}) = 15,96 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

h_e Coeficiente de convección exterior ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$)

Extensiones de la cámara de secado.

Longitud = 2,5 m

Ancho = 2,5 m

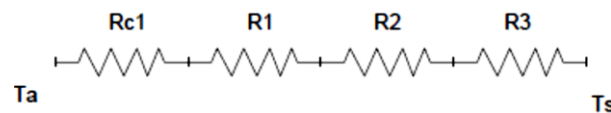
Altura = 1.20 m

Longitud del acumulador térmico = 2 m

Altura del acumulador térmico = 0.5 m

Espesor de la capa del aislante térmico = 0.05m

Las pérdidas térmicas ocasionadas por la transferencia de calor por conducción, lo analizaremos mediante la analogía eléctrica de las resistencias en serie, tal como se aprendió en el curso de transferencia de calor. Se tiene cuatro resistencias a la conducción de calor, el aislamiento térmico, el acumulador de energía térmica (Rocas o piedras), y la cubierta exterior.



Resistencia a la dirección del calor hacia el aislante térmico.

$$R_1 = \frac{E_{mad.}}{K_{mad.} * A_{ext.}} = \frac{0,03}{(0,04)(3)} = 0,25 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$R_2 = \frac{E_{ais.}}{K_{ais.} * A_{ext.}} = \frac{0,05}{(0,04)(3)} = 0,42 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

Donde:

R_1 y R_2 Resistencia a la conducción de la madera y del aislamiento térmico ($^{\circ}\text{C/w}$)

$E_{mad.}$ y $E_{ais.}$ Espesor de la madera y del aislamiento térmico (m)

$K_{mad.}$ y $K_{ais.}$ Conductividad térmica de la madera ($0.04 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$)

$A_{ext.}$ Área del exterior de una de las cara de cámara de secado ($2.5 * 1.2$) = 3 m^2

Se utilizó madera para la cubierta externa del deshidratador con el objetivo de abaratar los costos de diseño, y además porque este recurso abunda en Aramango, lo cual lo podemos obtener a precios relativamente bajos, también por que la madera tiene baja conductividad térmica con respecto a otros materiales.

$$R_3 = \frac{L_{roca.}}{K_{roca} * A_{ext.}} = \frac{2}{(2.75)(3)} = 0,24 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

Donde:

R_3 Resistencia a la conducción del lecho de rocas ($^{\circ}\text{C/w}$)

K_{roca} Conductividad térmica de las rocas ($2,75 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$)

L_{roca} Longitud del acumulador de secado (m)

Resistencia externa a la transferencia de calor por convección.

$$R_{C1} = \frac{1}{h_e * A_{ext.}} = \frac{1}{(15,96)(3)} = 0,021 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

La resistencia equivalente o resistencia total, después del análisis mediante analogía eléctrica tenemos:

$$R_T = 0,25 + 0,42 + 0,24 + 0,021 = 0,931 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Donde el calor perdido por las resistencias a la conducción de calor es:

$$Q_P = \frac{T_s - T_a}{R_T} = \frac{(60 - 27)}{0,931} = 35,45 \text{ W}$$

$$Q_P = \frac{35,45 \text{ W} * 3600}{1000} = 127,6 \text{ kJ}$$

Pero, ya que las bandejas requieren cierta energía para elevar su temperatura, se necesita calcular cierta energía útil se requerida. Donde las bandejas para el secado de cacao son material aluminio. Su densidad de la placa de aluminio es de ($\rho_{al.} = 2800 \text{ kg/m}^3$) con una capacidad calorífica de ($C_p = 0,875 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$) , considerando también que las bandejas son taladradas en un 10% de su masa bruta, con el fin de garantizar un secado uniforme en las almendras de cacao.

Entonces el calor necesario para calentar las bandejas de aluminio es:

$$m_{bandeja} = 2800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 2\text{m} * 2\text{m} * 0,003\text{m} = 33,6 \text{ kg}$$

Ya que las bandejas de secado serán agujereadas, esto reduciría su masa en un 10%.

$$masa_{bandeja} = 33,6 * 0,1 = 3,36 \text{ kg}$$

$$Q_i = m * C_p(T_s - T_a) = 30,24 * 0,875(60 - 27) = 873,2 \text{ kJ}$$

En conclusión, general de todos los calores necesarios para la cámara de secado tenemos.

$$Q_T = Q_P + Q_{Prod.} + Q_i = 128\text{kJ} + 873,2\text{kJ} + 338234\text{kJ} = 339,235 \text{ MJ}$$

La cantidad de energía requerida para el proceso de secado necesitamos 339,235 MJ, para secar una masa de 250 kg de almendras fermentadas de cacao.

Hallamos la cantidad de calor necesario para el proceso de secado con una duración estimada de 24 horas de sol, con fin de no afectar las características de las almendras de cacao

$$q_t = \frac{Q_T}{T_t} = \frac{339280}{86400} = 3927W$$

En resumen, tenemos la siguiente tabla, donde se muestran los calores inmersos durante el proceso de secado.

Tabla 11

Resumen de calores incidentes en la cámara de secado

Medidas	Símbolo	valor	unidad
Humedad inicial	X_f	60	%
Humedad final	X_i	8	%
Masa de cacao fermentado a secar	m_i	250	kg
Masa seca	m_s	100	kg
Masa de agua	m_a	141,3	kg
Calor latente	Q_L	330353,8	kJ
Calor sensible	Q_s	7880,3	kJ
Calor perdido	Q_P	271	kJ
Calor inicial	Q_i	873,2	kJ
Calor requerido	Q_R	339378,2	kJ

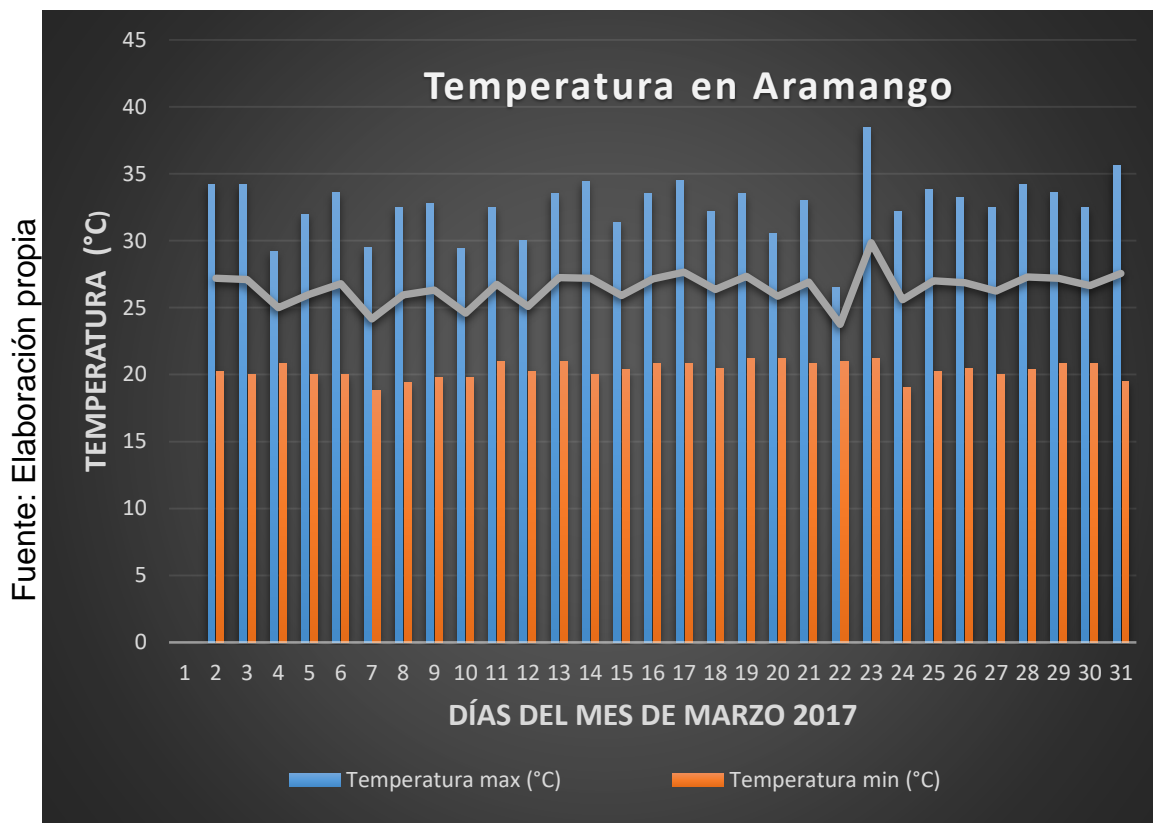
Entonces se necesita realizar los cálculos necesarios para el diseño del colector solar, para suministrar energía (339,235 MJ), durante todo el proceso de secado.

3.4.8. Calculo de diseño del colector solar

Para los cálculos necesarios del dimensionamiento del colector solar, necesitamos conocer la radiación solar del Distrito Aramango. El Senamhi es la autoridad especialista, encargada de evaluar la radiación solar de todo el Perú. El valor promedio de radiación solar para la zona es de (5,5 kW/m²). Dato tomado del atlas de energía solar.

También mediante el Senamhi, podemos obtener las temperaturas ocurridas durante el ambiente. La temperatura promedio durante todo el mes de marzo es de 27°C.

Figura 41



Toma de muestras de temperaturas de todo el mes de marzo 2017

Esta grafica muestra las variancias de temperatura del Distrito Aramango, donde la temperatura la temperatura media durante todo el mes es 27°C, en base los datos de radiación solar y temperatura brindado por el Senamhi, realizaremos el diseño del colector solar. Para encontrar la potencia de efectiva de los colectores es necesario encontrar la cantidad de flujo de aire de ingreso al colector solar, es muy importante, ya que la eficiencia del secado de granos de cacao depende principalmente de la cantidad de flujo de aire a la cámara de secado.

En un análisis de pruebas de secado de café la Organización de las naciones unidas para la agricultura y alimentación (F.A.O), concluyo que para secado de temperaturas mayores a 50°C, es necesario multiplicar el factor de corrección de secado por la masa del producto a deshidratar, donde para cálculos de diseño se debe de usar el caudal especifico. (F.A.O, 1991, p. 75)

$$Q_v = q_o * m_{cps} = 0.1 \frac{m^3}{min.kg}$$

La F.A.O recomienda un flujo de aire superior $1,3 \times 10^{-4} \frac{m^3 aire}{kg}$ de ingreso al proceso de secado, donde se tiene que tomar en cuenta que para temperaturas mayores a 50°C, se tiene que utilizar el factor de corrección recomendado.

$$Q_v = 0,00022 * m_{cps} = 0,00022 * 250 = 0,055 \frac{m^3}{s}$$

Donde:

Q_v Caudal proporcionado por el ventilador

q_o Caudal específico para granos

m_{cps} Masa del producto a secar

De donde se aplicamos una corrección al caudal volumétrico por razones de seguridad, en donde incrementando el caudal volumétrico de la siguiente forma:

$$Q_v = 0,2 * (Q_v + Q_v)$$

$$Q_v = 0,2 * (0,055 + 0,05) = 0,066 m^3/s$$

Donde el caudal volumétrico convertido en pies cúbicos por minuto (C.F.M)

$$1 pie^3 = 0,0283168 m^3$$

$$1 m^3 = 35,315 pie^3$$

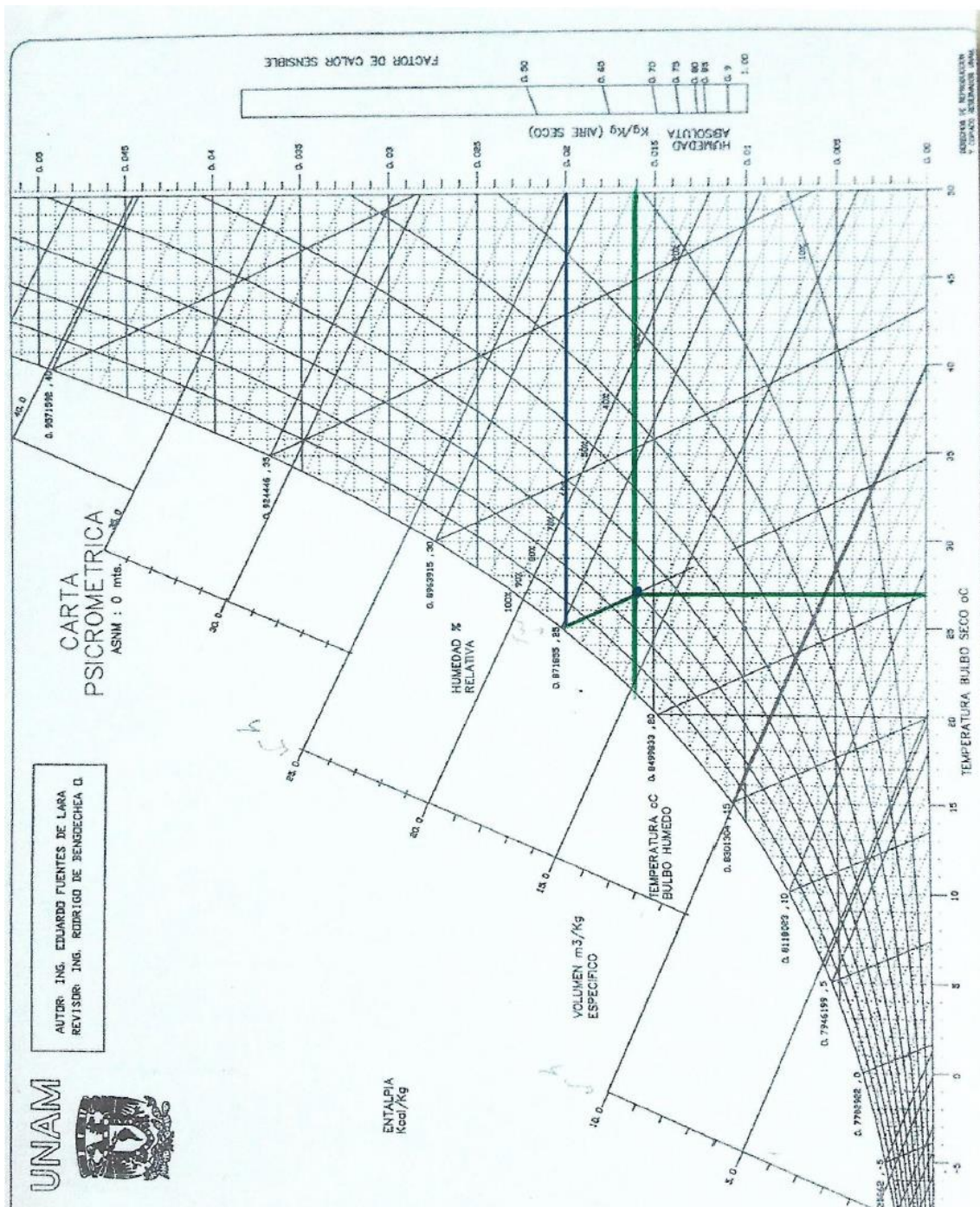
$$0,066 \frac{m^3}{s} * \frac{35,315 pie^3}{1 m^3} * \frac{60 s}{1 min} = 139,85 C.F.M$$

Seleccionamos un ventilador centrífugo de 235 C.F.M, por catálogo, esta capacidad de selección es referencial, ya que se puede seleccionar cualquier otro tipo de ventilador con el caudal volumétrico calculado. El exceso de flujo de aire a los colectores solares no tendrá ningún inconveniente, ya que se podrá controlar el flujo de aire mediante instrumentación de control electrónico.

Para hallar el flujo másico del aire lo realizaremos mediante la carta psicrométrica, donde la temperatura de bulbo seco es 27°C, y la temperatura de bulbo húmedo es 23°C, con una humedad relativa del aire de 70%. Con estos datos encontraremos las propiedades del aire, mediante la carta psicrométrica.

3.4.8.1. Carta psicrométrica

Figura 42



Mediante la utilización de la carta psicrométrica obtenemos los siguientes datos:

$$W_a = 0,016 \frac{kg_{vapor\ de\ agua}}{kg_{aire\ seco}}$$

$$W_u = 0,02 \frac{kg_{vapor\ de\ agua}}{kg_{aire\ seco}}$$

Donde:

W_a Humedad absoluta del ambiente en la entrada

W_u Humedad absoluta a la salida del proceso de secado

Con estos parámetros obtenidos de la carta psicrométrica calculamos el diferencial de masa del aire seco.

$$\Delta W = (W_u - W_a) = (0,02 - 0,016) = 0,004 \frac{kg_{vapor\ de\ agua}}{kg_{aire\ seco}}$$

Entonces la masa seca del aire es:

$$m_{aire} = \frac{\Delta M_w}{\Delta W} = \frac{141,3}{0,004} = 35325\ kg$$

Donde:

ΔM_w diferencial de masa de agua a evaporar (kg)

ΔW Diferencial de masa de humedad absoluta en el secado ($kg_{agua}/kg_{aire\ seco}$)

Entonces calculamos la masa total de aire:

$$m_{seca\ aire\ total} = m_{aire} + m_{aire} * W_a$$
$$m_{seca\ aire\ total} = (35325 + 35325)(0,016) = 1130,4\ kg$$

Hallamos la cantidad flujo másico del aire

$$Q_{m.a} = \frac{m_{seca\ aire\ total}}{T_t} = \frac{1130,4\ kg}{86400\ s} = 0,013 \frac{kg}{s}$$

Donde:

$Q_{m.a}$ caudal másico de aire requerido para el secado (kg/s)

T_t Tiempo estimado duración del proceso de secado. (24h = 86400seg.)

Inicialmente hallamos la potencia calorífica que debe de tener el colector solar, ya que se necesita 339,235 MJ de energía.

$$P_{CS} = Q * \rho * C_{pa}(T_s - T_a)$$
$$P_{CS} = 0,066 \frac{m^3}{s} * 1,092 \frac{kg}{m^3} 1007,8 \frac{J}{kg^\circ C} (60^\circ C - 27^\circ C) = 2394\ W$$

Donde:

P_{CS} es la potencia aproximada del colector solar (W)

Q_v Caudal volumétrico del aire (m^3/s)
 ρ Densidad del aire ($1,092 \text{ kg}/m^3$)
 C_{pa} Calor específico del aire ($1,0078 \text{ kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$)

Recordando que los colectores de placa plana tienen rendimientos de 40% - 60%, asumiremos una eficiencia del 50%.

$$P_{cs} = \frac{2394 \text{ W}}{0.5} = 4788 \text{ W}$$

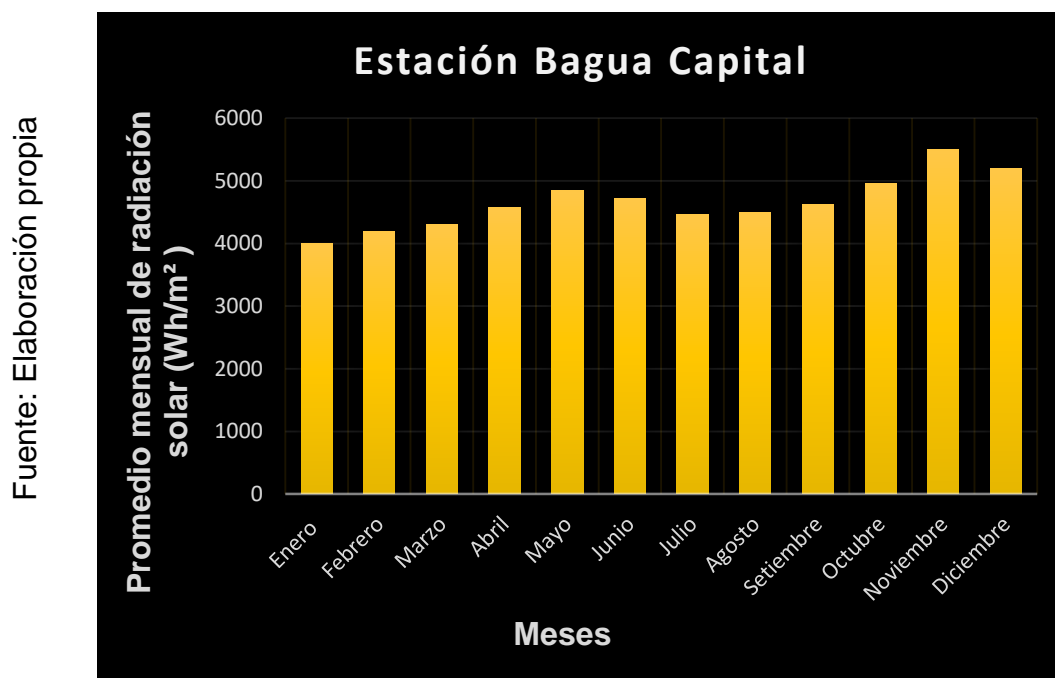
Para que los colectores solares funcionen a una eficiencia del 50%, la energía solar mínima incidente sobre el colector será:

$$E_c = P_{cs} * 3600 * 24 = 413,68 \text{ MJ}$$

Donde:

E_c Energía necesaria incidente sobre el colector para calentamiento del aire.

Figura 43



Heliofania en el Distrito de Aramango

La radiación solar promedio durante los doce meses de año es $4659 \text{ Wh}/m^2$, estos datos fueron recolectados de la base de datos de la estación de Radio sonda de la provincia Bagua (Senamhi-Amazonas).

$$I = 4659 \frac{Wh}{m^2} * 3600 = 16,8 MJ$$

$$A_{EC} = \frac{E_c}{I} = \frac{413,68 MJ}{16,8} = 24,6 m^2$$

Donde:

A_{EC} Energía efectiva de la captación solar de los colectores.

I Radiación solar incidente sobre el colector

El área aproximada del área efectiva de absorción de calor, de los colectores solares es de 24,6 m², para que pueda abastecer de energía al proceso de secado, ya que la demanda de energía es de 339,235 MJ. Del cual se evaluará un colector que cumpla con la demanda energética del secado.

3.4.9. Calculo de diseño para un colector solar de 1,5m x 4m

se seleccionó un colector solar de placa plana, porque tiene el 85% menos de pérdidas de presión, que el colector de placa corruga, en base a esto se realizara el diseño del colector solar.

Tabla 12

Datos de ingreso para el proceso de cálculo de diseño del colector solar

Parámetro	valor	unidad
Conductividad térmica del aislante	0,04	W/m.°K
espesor del aislante térmico	0,05	m
Numero de cubiertas transparentes	2	
Temperatura de ingreso	27	°C
Temperatura de secado	60	°C
Constante de Stefan-Boltzmann	5	$W/m^2 \cdot K^4$
Coeficiente de convección externo	15,96	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
Densidad del aire	1,18	Kg/m ³

Como primer paso calculamos las Propiedades ópticas de las cubiertas transparentes.

Angulo de refracción

$$\theta_r = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \theta_T}{n} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{\sin(32,16)}{1,50} \right) = 20,4^\circ$$

Donde:

n Índice de refracción del vidrio

Transmitancia simple del vidrio

$$\tau = e^{-kd} = e^{-0,09 \cdot 0,003} = 0,97$$

Donde:

k coeficiente de extinción o coeficiente de absorción ($0,09 \text{ cm}^{-1}$)

d Espesor de la cubierta de vidrio (3mm)

Coeficiente de reflexión de la interfaz vidrio-aire

$$r = \left(\frac{n - 1}{n + 1} \right)^2 = \left(\frac{1,52 - 1}{1,52 + 1} \right)^2 = 0,043$$

Para el diseño de colectores solares, las cubiertas transparentes necesariamente deben de tener un alto contenido hierro, ya que esto le permite tener mejores propiedades ópticas, una elevada absorción de una cantidad de radiación infrarroja del espectro solar.

Transmitancia del vidrio

$$T = \tau * \left(\frac{1 - r}{1 + r} \right) = 0,97 * \left(\frac{1 - 0,043}{1 + 0,043} \right) = 0,9$$

Reflexión del vidrio

$$R = \tau - T = 0,97 - 0,9 = 0,07$$

Absortancia del vidrio

$$a = 1 - \tau = 1 - 0,97 = 0,03$$

Temperatura de la cubierta transparente

$$T_c = \frac{T_f + T_a}{2} = \frac{333 + 300}{2} = 316,2 \text{ } ^\circ K$$

Propiedades del aire para a esta temperatura

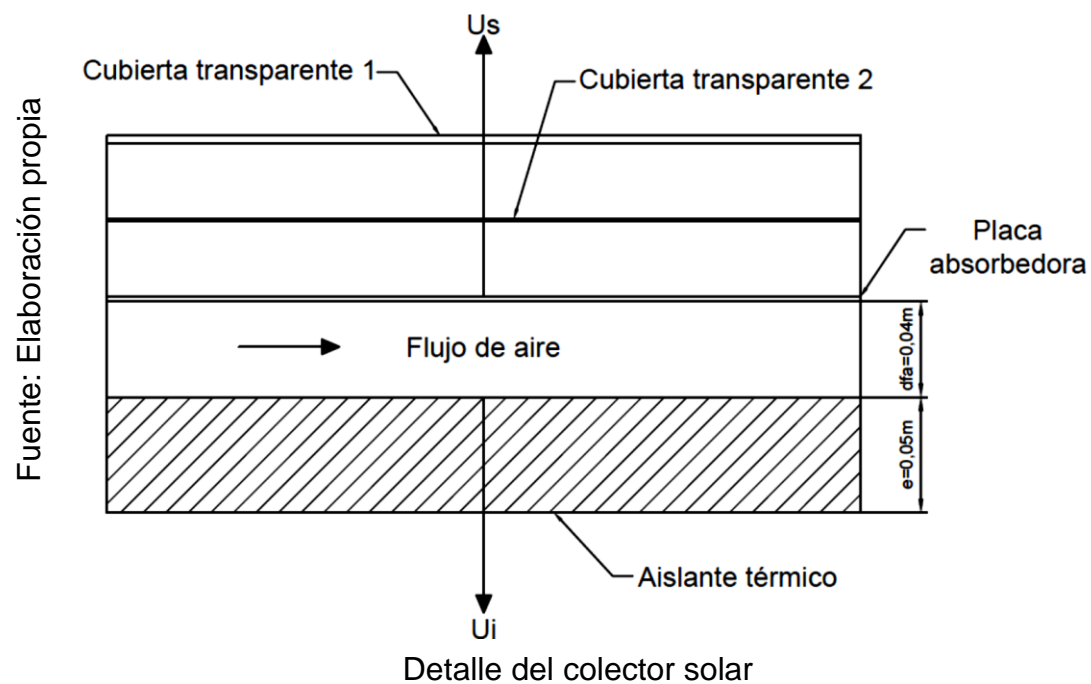
ρ_a Densidad del aire ($1,18 \text{ kg/m}^3$)

u_a Viscosidad dinámica ($1,826 \times 10^{-5} \text{ N.s/m}^2$)

k_a Conductividad térmica ($0,026 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$)
 cp_a Calor específico a presión constante ($1007 \text{ J/kg.}^\circ\text{K}$)
 P_r Numero de prandtl ($0,7081$)

En la siguiente figura propiamente elaborada, observaremos el detalle básico del colector solar de placa plana.

Figura 44



Calculo del número de Reynolds

$$R_e = \frac{2 * Q_{m.a}}{(a_c + h_c) * u_a} = \frac{2 * 0,066}{(0,15 + 1,5) * (1,826 \times 10^{-5})} = 4389$$

$$D_h = \frac{2 * a_c * h_c}{a_c + h_c} = \frac{2(1,5 * 0,15)}{1,5 + 0,15} = 0,075 \text{ m}$$

$$P_e = 2(a_c + d_{fa}) = 2(1,5 + 0,04) = 3,08 \text{ m}$$

Donde:

D_h Diámetro hidráulico
 P_e Perímetro
 a_c Ancho del colector ($1,5 \text{ m}$)
 d_{fa} Distancia de flujo de aire

h_c Longitud del colector (0,15m)

Factor de fricción del aire en el interior de la placa absorbente

$$f = (0,790 * \ln(R_e) - 1,64)^{-2}$$

$$f = (0,790 * \ln(4389) - 1,64)^{-2} = 0,04$$

Calculo del número de Nusselt

$$N_U = (0,03 * R_e^{0,74}) + \left(0,788 * R_e^{0,74} * \frac{d_{fa}}{L_c} \right)$$

$$N_U = (0,03 * (4389)^{0,74}) + \left(0,788 * (4389)^{0,74} * \frac{0,04}{4} \right) = 18,8$$

Coeficiente de transferencia de calor en el colector.

$$h_f = \frac{(k_a * N_U)}{D_h} = \frac{(0,026 * 18,8)}{0,075} = 6,52 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Características de la placa absorbidora de aluminio

$\rho_{al.}$ Densidad del aluminio 2800 kg/m³

$e_{al.}$ Espesor de la placa absorbidora (0,002 m)

Volumen de la placa absorbidora del colector

$$V_{p.al} = a_c * L_c * e_{al.} = 1,5 * 4 * 0,002 = 0,012 m^3$$

Masa de placa absorbidora

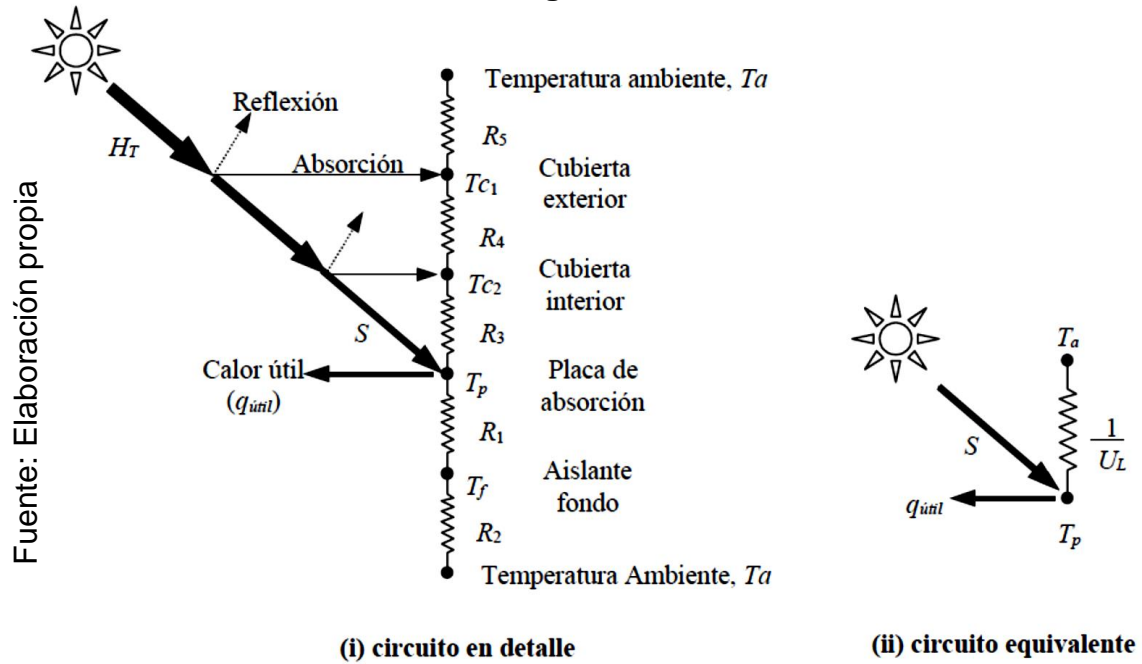
$$m_{p.al} = \rho_{al.} * V_{p.al}$$

$$m_{p.al} = 2800 * 0,012 = 33,6 kg$$

3.4.10. Análisis térmico del colector solar

Calculo de pérdidas superiores según la siguiente figura donde detallamos las diferentes resistencias que intervienen el colector solar de placa plana.

Figura 45



Análisis del circuito térmico del colector solar con cubiertas transparentes

calculo de la conductancia en parte inferior del colector(U_i)

$$U_i = \frac{1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{\frac{1}{k_a} + \frac{1}{h_{fo}}} = \frac{1}{\frac{1}{0,026} + \frac{1}{15,96}} = 0,026 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Calculo de la conductancia en la parte superior del colector (U_s)

Para determinara la conductancia en la parte superior, es necesario conocer las resistencias R_3 , R_4 y R_5 . El flujo de calor se concentra entre la placa absorbedora y la cubierta interior mediante convección y radiación.

$$U_s = \frac{1}{R_3 + R_4 + R_5}$$

Resistencia a la conducción entre la placa de absorción y la cubierta interior

$$R_3 = \frac{T_p - T_{c2}}{(h_{c2} + h_{R2})(T_p - T_{c1})}$$

$$R_3 = \frac{333 - 316,5}{(0,5 + 6,68)(333 - 300)} = 0,07 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Donde se tiene que:

$$h_{R2} = \frac{\sigma(T_p + T_{c2})(T_p^2 + T_{c2}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_{c2}} - 1}$$

$$h_{R2} = \frac{5.67 \times 10^{-8}(333 + 316,5)(333^2 + 316,5^2)}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,95} - 1} = 6,68 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Donde:

T_p Temperatura promedio de la placa absorbadora ($333^\circ K$)

T_{c2} Temperatura promedio de la cubierta interior ($316,5^\circ K$)

T_{c1} Temperatura promedio de la cubierta exterior ($300^\circ K$)

h_{c2} Coeficiente de transferencia de calor de la placa de absorción y la cubierta interior. ($W/m^2 \cdot ^\circ K$)

h_{R2} Coeficiente de transferencia de calor por radiación de la placa absorbadora y la cubierta interna. ($W/m^2 \cdot ^\circ K$)

σ Constante de Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ } W/m^2 \cdot K^4$)

ε_p Emitancia de la cubierta interior (0,9)

ε_{c2} Emitancia de la placa absorbadora (0,95)

Coeficiente de transferencia de calor en el interior del colector de placa, la cual guarda relación entre la cubierta interior y la placa de absorción.

$$h_{c2} = \frac{N_u * D_h * k_a}{D_h} = \frac{18,8 * 0,075 * 0,026}{0,075} = 0,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Calculo de resistencia térmica entre la cubierta interior y la cubierta exterior

$$R_4 = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{(h_{c1} + h_{R1})(T_{c2} - T_{c1})}$$

$$R_4 = \frac{316,5 - 300}{(5,6 + 5,6)(316,5 - 300)} = 0,09 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Donde el coeficiente de transferencia de calor por radiación interior y exterior

$$h_{R1} = \frac{\sigma(T_{c1} + T_{c2})(T_{c1}^2 + T_{c2}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_{c2}} + \frac{1}{\varepsilon_{c1}} - 1}$$

$$h_{R1} = \frac{5.67 \times 10^{-8} (300 + 316,5)(300^2 + 316,5^2)}{\frac{1}{0,95} + \frac{1}{0,88} - 1} = 5,6 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

ε_{c1} Emitancia de la cubierta exterior (0,88)

Resistencia térmica entre el ambiente y la cubierta exterior

$$R_5 = \frac{T_{c1} - T_a}{(h_e + h_{fir})(T_{c1} - T_a)}$$

$$R_5 = \frac{300 - 298}{(15,96 + 5,34)(300 - 298)} = 0,05 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Donde:

h_e Coeficiente de transferencia de calor exterior por convección

h_{fir} Coeficiente de transferencia de calor entre interior y exterior por radiación

h_e Coeficiente de transferencia de calor exterior

$$h_{fir} = \sigma * \varepsilon_{c1} (T_{c1} + T_a)(T_{c1}^2 + T_a^2)$$

$$h_{fir} = (5,67 \times 10^{-8}) * (0,88)(300 + 298)(300^2 + 298^2) = 5,34 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

$$h_e = 5,7 + 3,8 * V_v$$

$$h_e = 5,7 + 3,8(2.7 \text{ m/s}) = 15,96 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Hottel y Wertz, propusieron la ecuación de pérdidas térmicas superiores, del cual no es muy complejo, simplificando así el proceso anterior, generalmente esta ecuación se utiliza para temperaturas que van desde los ($20^\circ C - 225^\circ C$), teniendo un margen de error de ($\pm 3 \text{ W/m}^2$).

$$U_s = \left[\frac{N}{\left(\frac{C}{T_p} \right) \left(\frac{T_p - T_a}{N + f} \right)^e} + \left(\frac{1}{h_e} \right) \right]^{-1} + \frac{\sigma (T_p + T_a)(T_p^2 - T_a^2)}{[\varepsilon_p + 0,00591 * N * h_e]^{-1} + \frac{(2N + f - 1)}{\varepsilon_c} - N}$$

$$U_s = \left[\frac{2}{\left(\frac{492,6}{333} \right) \left(\frac{333 - 300}{2 + 0,55} \right)^{0,3}} + \left(\frac{1}{15,96} \right) \right]^{-1} + \frac{5,67 \times 10^{-8} (333 + 300)(333^2 - 300^2)}{[0,9 + 0,00591 * 2 * 15,96]^{-1} + \frac{(2(2) + 0,55 - 1)}{0,88} - 2}$$

$$U_s = 3,91 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Donde:

- N Número de cubiertas transparentes
 β Angulo de inclinación del colector
 e Pérdidas de térmicas por las cubiertas
 f Factor de fricción

$$f = (1 - 0,04 * h_e + 0,0005 * h_e)(1 + 0,058 * N)$$

$$f = (1 - 0,04 * 15,96 + 0,0005 * 15,96)(1 + 0,058 * 2) = 0,55$$

$$C = 520(1 - 0,000051 * \beta), \text{ cuando } \beta < 70^\circ$$

$$C = 520(1 - 0,000051 * 32,16) = 492,6$$

$$e = 0,43 \left(1 - \frac{100}{T_p} \right) = 0,43 \left(1 - \frac{100}{333} \right) = 0,3$$

Calculo de la conductancia por los laterales

$$U_{lat.} = \frac{K_a}{e_{ais.}} = \frac{0,026}{0,05} = 0,52 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Donde:

- $A_{c.p.l.}$ Área del colector de la parte lateral ($0,15m * 4m$)
 $e_{ais.}$ Espesor del aislante ($0,05m$)
 P_e Perímetro del colector ($3,08 m$)
 h Altura del colector ($0,15m$)

Las pérdidas totales en el colector son:

$$U_T = U_s + U_i + U_{lat.} = 0,52 + 3,91 + 0,026 = 4,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Calculo del factor de eficiencia del colector (F')

$$h_r = \frac{4 * \sigma * (T_p)^3}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} = \frac{4(5,67 \times 10^{-8})(333)^3}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,88} - 1} = 6,71 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Donde:

- h_1 Coeficiente de transferencia de calor del flujo de aire por convección ($18,8 W/m^2 \cdot ^\circ K$).

h_2 Coeficiente de transferencia de calor del flujo de aire y la placa de absorción ($19,05 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$), resulta de la multiplicación ($h_1 * 25\%$)

Calculo del factor de ganancia del colector (F')

$$F' = \frac{1}{1 + \frac{U_T * h_r}{h_r * h_1 + h_2 * U_L + h_2 * h_r + h_1 * h_2}}$$

$$F' = \frac{1}{1 + \frac{4,5 * 6,71}{(6,71 * 18,8) + (19,05 * 4,5) + (6,71 * 18,8) + (6,71 * 19,05)}} = 0,956$$

Calculo del factor de remoción de calor (F_R)

$$F_R = \frac{Q_{m.a} * C_{pa}}{A_c * U_T} \left[1 - \exp \left(-U_T * F' * \frac{A_c}{Q_{m.a} * C_{pa}} \right) \right]$$

$$F_R = \frac{0,066 * 1007}{6 * 4,5} \left[1 - \exp \left(-4,5 * 0,956 * \frac{6}{0,066 * 1007} \right) \right] = 0,96$$

Donde:

$$C_{pa} \text{ Densidad del aire } \left(1,007 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}} = 0,279 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}} \right)$$

Calculo del calor útil en el colector (Q_u)

$$Q_u = A_c * F_R [S - U_L(T_{pm} - T_a)]$$

$$Q_u = 6 \text{ m}^2 * 0,96 [925 - 4,5(333 - 298)] = 4420 \text{ W}$$

Donde:

$$S \text{ Radiación solar mínima registrada por el Senamhi } (850 - 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2})$$

Rendimiento del colector solar

$$n_c = \frac{Q_u}{S * A_c} = \frac{4420}{925 * 6} = 0,8 = 80\%$$

Calculo de caída de presión en el colector, ya que el aire al elevar su temperatura su densidad disminuye, ocasionando caídas de presión en el interior del colector.

Calculo de corrección del flujo másico superficial en el interior del colector.

$$Q_{m.a} = \frac{R_e * \mu_a}{D_h} = \frac{4389 * (1,826 \times 10^{-5})}{0,075} = 1,07 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

Presión atmosférica

$$P_1 = 101325 \text{ Pa}$$

Evaluación de la caída de presión

$$P_2 = \left[1 - \left(\frac{Q_{m,a}^2}{\rho_a * P_1} \right) \left(0 + \frac{f * L_c}{D_h} \right) \right]^{1/2} * P_1$$

$$P_2 = \left[1 - \left(\frac{1,07^2}{1,18 * 10135} \right) \left(0 + \frac{0,04 * 4}{0,075} \right) \right]^{1/2} * 101325 = 101322$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 3 \text{ Pa}$$

Tabla 13

Energía total entregada por el banco de colectores solares

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Calor útil	Q_u	63,65	MJ

3.4.11. Calculo de almacenamiento de energía térmica en lecho de rocas

El almacenamiento de energía térmica, se realizará mediante piedras o rocas de tamaños pequeños, con el fin, de que no se originen gradientes fuertes de temperatura, el banco de energía térmica tendrá una altura de (0,5m de altura, con una distribución de 2m x 2m). en base estos y otros datos se realizan los caculos.

Tabla 14

Datos de entrada para el cálculo de almacenamiento térmico

Parámetro	valor	unidad
Volumen del lecho de rocas	2	m ³
Densidad de la roca	2724	kg/m ³
Calor específico	0,880	kJ/kg°C
Temperatura de ingreso	27	°C
Temperatura de secado	60	°C
Conductividad térmica de la roca	2	W/m. °C
Coeficiente de convección externo	15,96	W/m ² . °C
Densidad del aire	1,18	Kg/m ³

Calculo del volumen del lecho de rocas

$$V_{ro} = 2m * 0,5 * 2m = 2m^3$$

Masa del lecho de rocas

$$m_{ro} = 2m^3 * 2724 \frac{kg}{m^3} = 5448 kg$$

Diferencial de temperatura para el lecho de rocas

$$\Delta T = 60^\circ C - 27^\circ C = 33^\circ C$$

Capacidad volumétrica del lecho de rocas ($C_{v.ro}$)

$$C_{v.ro} = \rho_r * Cp_{ro} = 2724 * 0,88 = 2397 \frac{kJ}{m^3 \cdot ^\circ C}$$

Donde:

ρ_r Densidad de las rocas ($2724 kg/m^3$)

Cp_{ro} Calor específico de las rocas ($0,88 kJ/kg \cdot ^\circ C$)

Calor sensible en el lecho de rocas

$$Q_{s.ro} = V_{ro} * C_{v.ro} * \Delta T$$

$$Q_{s.ro} = 2 * 2397 * 33 = 158202 kJ$$

Mediante el cálculo del calor sensible de las rocas, nos demuestra que se puede almacenar 158 MJ de energía térmica, la cual entregara a la cámara de secado cuando disminuya la radiación solar.

Evaluación del almacenamiento térmico, con el fin de determinar que tanto influye el diferencial de temperatura, entre el almacenamiento térmico y el aire, para evaluar el diferencial de temperatura es necesario encontrar el número de Biot, donde según Duffie, señala que cuando el número de Biot es menor a 1, entonces la distribución de temperatura es uniforme, para ello se demuestra los siguientes cálculos.

$$A_{ro} = 2 * 2 = 4 m^2$$

Donde:

A_{ro} Área del lecho de rocas (m^2)

$Q_{m.a}$ Flujo másico de aire superficial ($1,07 \frac{kg}{m^2 \cdot s}$)

Calculo del coeficiente de transferencia de calor volumétrico mediante la ecuación de Lof and Hadwley (1948).

$$h_v = 650 * \left(\frac{Q_{m.a}}{d_{ro}} \right)^{0,7}$$

$$h_v = 650 * \left(\frac{1,07}{0,03} \right)^{0,7} = 7725,3 \frac{W}{m^3 \cdot ^\circ C}$$

Donde:

h_v Coeficiente transferencia de calor volumétrico ($W/m^3 \cdot ^\circ C$)

d_{ro} Diámetro de las rocas (0,03m)

Se recomienda que el diámetro de las rocas no sea demasiado grande, por el motivo de que demandan mayor cantidad de flujo de calor para elevar su temperatura, además porque en las rocas grandes el gradiente de temperatura es muy grande, lo cual nos genera que el almacenamiento térmico se retenga internamente, esto afecta a la transferencia de energía hacia al aire. Por tal motivo para el cálculo se selecciona rocas de un diámetro promedio de 0,03m.

Evaluación del coeficiente de transferencia de calor en unidad de área

$$h_{ca} = \frac{h_v}{6 * (1 - \varepsilon) \frac{a}{d_{ro}}}$$

$$h_{ca} = \frac{7725,3}{6 * (1 - 0,47) \frac{1,5}{0,03}} = 48,59 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Donde:

h_{ca} coeficiente de transferencia de calor por unidad área

ε Factor por fricción de las rocas (0,47)

a coeficiente por factor de forma superficial de lecho rocas (1,5)

Calculo del número de Biot.

$$Bi = \frac{h_{ca} * \frac{d_{ro}}{2}}{K_{ro}} = \frac{48,59 * \frac{0,03}{2}}{2} = 0,36$$

Donde:

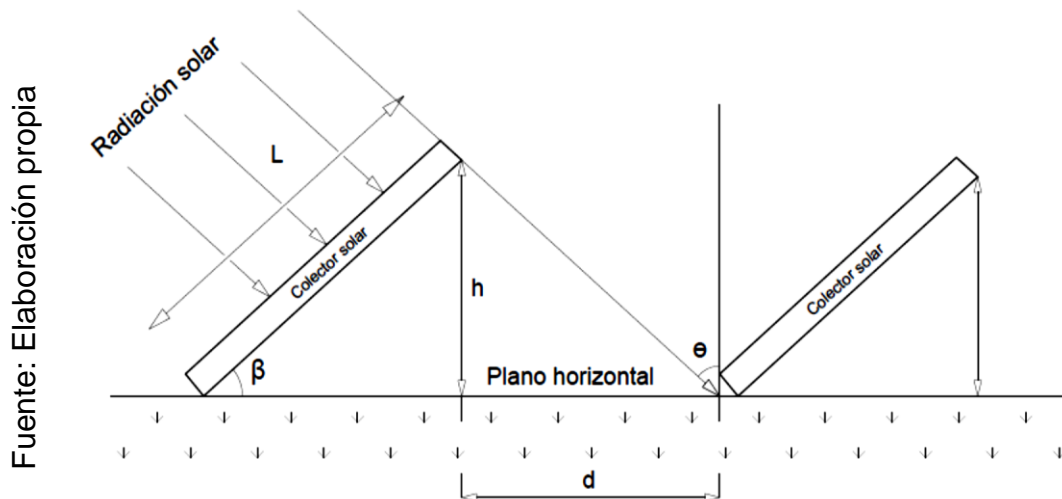
K_{ro} Conductividad térmica de la roca ($W/m \cdot ^\circ C$)

Bi Numero de Biot adimensional.

3.4.12. Calculo del efecto de sombra

Debido a que los colectores se posicionaran inclinados a $32,16^\circ$ en la superficie de un área despejada, esto tiende hacer efecto de sombra con respecto a la distancia de distribución del banco de colectores, tal motivo es necesario realizar los cálculos necesario para encontrar la distancia mínima de separación de cada colector solar.

Figura 46



Calculo de la declinación solar

$$\begin{aligned}\delta &= 0,000907 - 0,399912 \cos(2,307) \\ &+ 0,070257 \sin(2,307) - 0,006758 \cos(2 * 2,307) \\ &+ 0,000907 \sin(2 * 2,307) \\ &- 0,002697 \cos(3 * 2,307) + 0,00148 \sin(3 * 2,307) \\ \delta &= 23,20^\circ\end{aligned}$$

Calculo del ángulo cenital

$$\begin{aligned}\cos \theta_z &= (\cos \delta * \cos \phi * \cos \omega) + (\sin \delta * \sin \phi) \\ \cos \theta_z &= (\cos (23,20^\circ) * \cos(5,419^\circ) * \cos (0)) + (\sin 23,20^\circ * \sin(5,419^\circ)) \\ \cos \theta_z &= 0,95 \\ \theta_z &= \cos^{-1}(0,95) = 17,78^\circ\end{aligned}$$

Calculo de la distancia mínima de separación entre colector, con el propósito de determinar la distancia mínima de separación entre ambos.

$$\begin{aligned}k_s &= \tan(\theta_z) = 0,321 \\ d &= 0,321 * 1,5 * \sin(17,78^\circ) = 0,5m\end{aligned}$$

3.4.13. Calculo térmico del tubo de succión de aire caliente

A causa de que el aire caliente, al pasar por el interior de la tubería matriz de succión de aire caliente se generan pérdidas térmicas ocasionadas por la transferencia de calor por conducción y convección, lo analizaremos mediante la analogía eléctrica de las resistencias en serie. Se tiene cuatro resistencias de transferencia de calor, tenemos el material de la tubería interior, el aislamiento térmico y el material del tubo exterior.

Calculo para hallar el diámetro del tubo de succión de aire caliente

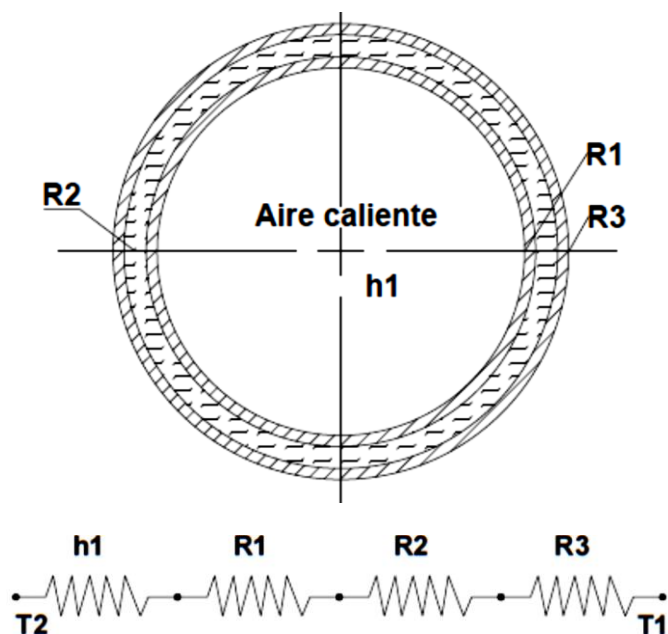
$$A = \frac{Q_s}{V} = \frac{0,066 \text{ m}^3/\text{s}}{2.7 \text{ m/s}} = 0,0244 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,0244 * 4}{\pi}} = 0,18 \text{ m}$$

El ducto de succión de aire caliente se realizará mediante el rolado de plancha galvanizada, con un diámetro base de 0,20 m. el diseño del ducto no tendrá dificultad alguna, ya que estará cubierta por fibra de vidrio de 0,05m de espesor.

Figura 47

Fuente: Elaboración propia



Detalle térmico del tubo de succión de aire caliente de los colectores

De la figura del detalle térmico del ducto echo mediante plancha de acero galvanizado realizamos el análisis térmico por convección interior, conducción y convección exterior.

Para ello necesitamos calcular la temperatura media

$$T_m = \frac{60^{\circ}\text{C} + 27^{\circ}\text{C}}{2} = 43.5^{\circ}\text{C}$$

Evaluamos para una temperatura promedio del aire a 45 °C, en base a ello, tomamos los parámetros necesarios para encontrar el coeficiente de película en el interior del ducto.

Donde:

ρ_a Densidad del aire ($1,109 \text{ kg/m}^3$)

K_a Conductividad térmica del aire ($0,027 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$)

μ Viscosidad dinámica ($1,941 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$)

P_r Numero de prandtl ($0,7241$)

Calculo del número de Reynolds

$$R_e = \frac{\phi_i * V * \rho_a}{\mu} = \frac{0,2 * 2,7 * 1,109}{1,941 \times 10^{-5}} = 30853$$

Ya que el número de Reynolds es mayor que 2300, entonces se dice que es un flujo turbulento. Aplicamos la correlación de OITTUS-BOELTER, con el fin de obtener el número de Nusselt.

$$N_u = 0,023 * R_e^{0,8} * P_r^{0,4}$$

$$N_u = 0,023 * (30853)^{0,8} * (0,7241)^{0,4} = 78,9$$

En base a lo calculado anteriormente encontramos el coeficiente de película interno

$$h_i = \frac{N_u * K_a}{\phi_i} = \frac{78,9 * 0,027}{0,2} = 10,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

De la analogía eléctrica encontramos todas las resistencias térmicas incidentes en el ducto de aspiración de aire caliente.

$$r_1 = 0,10 \text{ m}$$

$$r_2 = 0,101 \text{ m}$$

$$r_3 = 0,106 \text{ m}$$

$$r_4 = 0,107 \text{ m}$$

$$R_{hi} = \frac{1}{h_i * 2\pi * r_1} = \frac{1}{10,7 * 2\pi * 0,10} = 0,14$$

$$R_1 = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi * k} = \frac{\ln \frac{0,101}{0,10}}{2\pi * 46,5} = 3,41 \times 10^{-5}$$

$$R_2 = \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi * k} = \frac{\ln \frac{0,106}{0,101}}{2\pi * 0,035} = 0,22$$

$$R_3 = \frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{2\pi * k} = \frac{\ln \frac{0,107}{0,106}}{2\pi * 46,5} = 3,21 \times 10^{-5}$$

$$R_{he} = \frac{1}{h_e * 2\pi * r_4} = \frac{1}{15,96 * 2\pi * 0,107} = 0,09$$

Donde:

h_i Coeficiente de convección del aire caliente

h_e Coeficiente de convección exterior ($h_e = 15,96 \text{ W/m}^2\text{°C}$)

R_{hi} Resistencia a la convección en interior del ducto

R_{he} Resistencia a la convección del ducto en el exterior

R_1 Resistencia a la conducción del ducto galvanizado 1

R_2 Resistencia a la conducción del aislante térmico

R_3 Resistencia a la conducción del material del ducto

Calculo de perdida de transferencia de calor en el ducto de succión de aire caliente.

$$q/L = \frac{T_s - T_a}{\frac{1}{h_i * 2\pi * r_1} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi * k} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2\pi * k} + \frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{2\pi * k} + \frac{1}{h_e * 2\pi * r_4}}$$

$$q/L = \frac{60^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}}{(0,14) + (3,41 \times 10^{-5}) + (0,22) + (3,21 \times 10^{-5}) + (0,09)}$$

$$q/L = 73,32 \text{ W/m}$$

Calculo de los coeficientes globales incidentes en el interior y exterior del ducto.

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{r_1 * \ln \frac{r_2}{r_1}}{K} + \frac{r_2 * \ln \frac{r_3}{r_2}}{K} + \frac{r_3 * \ln \frac{r_4}{r_3}}{K} + \frac{r_4}{h_e}}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{10,7} + \frac{0,1 * \ln \frac{0,101}{0,1}}{46,5} + \frac{0,101 * \ln \frac{0,106}{0,101}}{0,035} + \frac{0,106 * \ln \frac{0,107}{0,106}}{46,5} + \frac{0,1}{0,107 * 15,96}}$$

$$U_i = 3,41 \text{ W/m}^2.^\circ\text{C}$$

Coeficiente global de pérdidas superiores en el ducto de succión de aire caliente

$$U_e = \frac{1}{\frac{r_2}{h_i * r_1} + \frac{r_2 * \ln \frac{r_2}{r_1}}{K} + \frac{r_3 * \ln \frac{r_3}{r_2}}{K} + \frac{r_4 * \ln \frac{r_4}{r_3}}{K} + \frac{1}{h_e}}$$

$$U_e = \frac{1}{\frac{0,101}{10,7 * 0,1} + \frac{0,101 * \ln \frac{0,101}{0,1}}{46,5} + \frac{0,106 * \ln \frac{0,106}{0,101}}{0,035} + \frac{0,107 * \ln \frac{0,107}{0,106}}{46,5} + \frac{1}{15,96}}$$

$$U_e = 3,29 \text{ W/m}^2.^\circ\text{C}$$

3.4.14. Calculo del proceso de secado

Es una etapa muy importante, ya que el proceso de secado depende principalmente de los parámetros calculados anteriormente, en base a ello, se calcula el tiempo teórico de secado de almendras de cacao, recordemos que el diseño del banco de colectores entrega una energía de 63,5 MJ. Donde los cálculos se realizaron con la radiación solar mínima durante todo el año, esto quiere decir que el proceso de secado puede ser más eficiente en los meses de mayor insolación incidente sobre los colectores solares, y que en consecuencia el tiempo de secado disminuya notablemente en comparación con el cálculo de diseño de insolación mínima.

Tabla 15

Energía útil total ofertada y demandada

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Energía útil que entrega el banco de colectores solares con la radiación mínima.	E_U	63,65	MJ
Energía requerida para el proceso de secado.	E_R	339,235	MJ

Entonces el tiempo de secado aproximado resulta de las ecuaciones siguientes:

$$t_s = \frac{E_R}{E_U} = \frac{339.235}{63.65} = 5,33$$

A esto le aplicamos una corrección de las horas efectivas de insolación en Aramango, donde la radiación mínima es de 4 horas efectivas de radiación solar, esta fuente es tomada del Senamhi Bagua.

$$T_s = \frac{t_s}{t_{h.e}} = \frac{5,33}{4} = 1,33 \text{ dias}$$

Debido a que el proceso de secado es variable en el tiempo, la predicción del tiempo de secado por medio colectores solares, es necesario aplicarle una corrección mediante la humedad absoluta, con la ayuda de la carta psicrométrica de alta temperatura.

Para ello se evalúa el aire a una temperatura promedio de 25,4°C, con una humedad relativa del 70%.

$$\theta_1 = 0,0142 \frac{kg_{agua}}{kg_{aire}}$$

Ya que, el aire al transitar por los colectores solares, este alcanza una temperatura del 60°C. Entonces se dice que el aire al pasar por la cámara de secado, este incrementa su humedad, llegando así a un punto de una humedad absoluta de 60%.

$$\theta_2 = 0,021 \frac{kg_{agua}}{kg_{aire}}$$

Entonces la capacidad de deshidratación del aire movable es:

$$\theta_T = 0,021 - 0,0142 = 0,0068 \frac{kg_{agua}}{kg_{aire}}$$

Donde el régimen de secado se evalúa por medio de las curvas higrotermicas de almendras de cacao, pero ya que no se disponen de ciertas curvas, entonces es necesario calcular en relación del flujo másico y la capacidad de desecación, ya que el deshidratador solar estará en funcionamiento como mínima 10 horas efectivas.

$$M_w = \frac{2,1 * 10 * 3600}{1000} = 75,6 \frac{kg_{agua}}{kg_{aire}}$$

en términos generales el tiempo de secado se calcula, realizando la operación de la división de la cantidad de agua a evaporarse sobre la masa mínima de extracción de agua diaria.

$$T_t = \frac{141,3}{75,6} = 1,8 \text{ dias}$$

El proceso de secado demorara, como máximo 18 horas efectivas de operación.

3.4.15. Sistema de control del deshidratador solar

El sistema de control está compuesto por un conjunto de componentes electrónicos, los cuales envían la señal analógica transformándolas en digital mediante un circuito de acople, la cual, los datos recopilados se ven reflejadas en una pantalla L.C.D. Mediante estos datos recopilados por los sensores serán evaluados la temperatura, humedad y presión en la cámara de secado.

En el proceso de secado de granos de cacao, requiere del control eficiente de los parámetros de temperatura, velocidad de secado, humedad inicial-final y flujo de aire, para ello se contará con sensores de humedad, sensores de temperatura, sensores de presión y un variador de velocidad para controlar el caudal de aire de ingreso a la cámara de secado. Esto realiza con el fin mejorar la eficiencia del secado de las almendras de cacao. La programación del PIC16F877A y el circuito de la tarjeta de adquisición de datos se encuentran en los anexos.

Figura 48

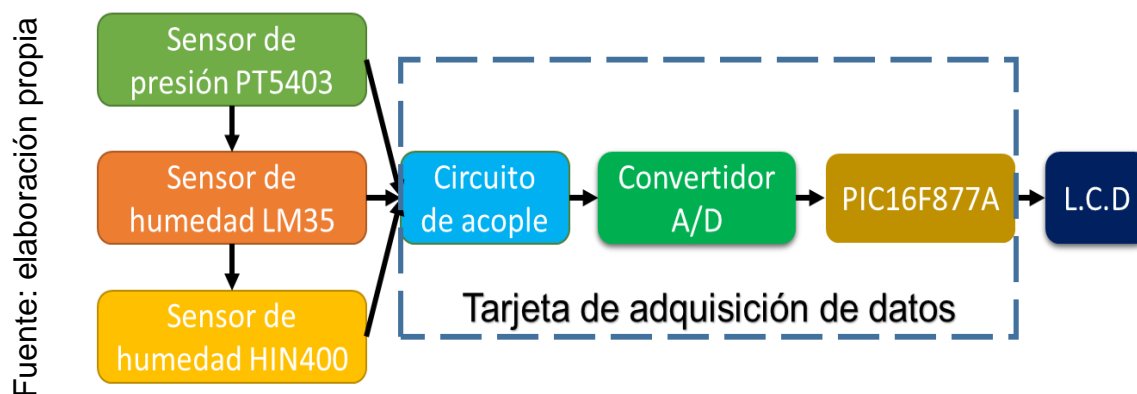


Diagrama de bloques del circuito electrónico

3.4.15.1. Control de presión

Es de mucha importancia verificar la presión en la cámara de secado, ya que lo contrario las almendras de cacao sufrirían el efecto de aplastamiento, causándoles distorsiones en el proceso de secado. Para ello se seleccionó un sensor de presión del tipo PT5403, con el rango de medición de (0 – 25 bar), soporta temperaturas hasta 95°C, con el cual es el indicado para la cámara de secado, las demás características se encuentran en el marco de anexos.

3.4.15.2. Control de temperatura

Controlar la temperatura en la cámara de secado es muy importante, ya que así se puede evitar, que los granos de cacao se pueden volver muy quebradizos, esto sucede cuando la humedad del sólido se disminuye notablemente más de lo necesario. Para ello se seleccionó el sensor de temperatura el LM35, ya que es un sensor integrado que demanda una gran precisión, donde su tensión de salida es linealmente a la intensidad de temperatura, esto quiere decir que el sensor de temperatura es muy ventajoso con respecto a otros sensores, ya que tiene un rango de medición desde -55°C hasta $+150^{\circ}\text{C}$, por el cual se ajusta a las necesidades del proceso de secado. El deshidratador solar contará con seis sensores de temperatura ubicados uno cada uno en la salida de cada colector, y los dos restantes están ubicados en la entrada y salida del aire caliente de la cámara de secado. Las demás características del sensor están en los anexos.

3.4.15.3. Control de humedad

La verificación de humedad en el proceso de secado es de vital importancia, ya que principalmente se depende de este parámetro para saber cuánto porcentaje de humedad contienen los granos de cacao, durante y después del proceso de secado, este parámetro está ligado directamente a la calidad de los granos de cacao, porque según la calidad de secado, los costos de compra de los granos se ven favorecidos. Donde se seleccionó un sensor de humedad del tipo capacitivo HIH-4000, generalmente este sensor tiene la particularidad de otros, debido a que su comportamiento es lineal al igual que el sensor LM35, otras de las ventajas favorables de la elección de este tipo de sensor, es que se puede conectar directamente al microcontrolador. Las características siguientes están en los anexos.

3.4.15.4. Circuito de acople

El circuito de acople es el encargado de recibir y amplificar las señales de los sensores, comúnmente estos circuitos de acople llevan la gran mayoría de los equipos modernos, por tales motivos es que se emplea dicho circuito. Es decir que generalmente que el circuito de acople es un circuito amplificador de señales, los diseños varían sustancialmente dependiendo de cada fabricante, las cuales constan de tres periodos, donde tenemos el periodo de amplificación diferencial, de

tensión y de salida. El circuito de acople se comporta mediante dos formas operacionales, el de lazo abierto, que es el que consiste en la particularidad de las diferencias de tensiones en las entradas de sus pines de 1V, donde quiere decir que el voltaje de salida va a ser mucho mayor, pero que la lógica no va a entregar un mayor voltaje que el de la alimentación. El del lazo cerrado o de realimentación es aquel, en el que la realimentación de tensión tanto en la salida como la de ingreso son exactamente iguales.

3.4.15.5. Microcontrolador Pic16F877A

El microcontrolador Pic, es el encargado de programar las señales de los sensores, para luego ser enviadas al módulo LCD, la cual depende de una programación para que pueda cumplir con cualquiera de los fines de programación, generalmente los microcontroladores se utilizan para comunicaciones digitales con otros dispositivos electrónicos. Se comportan como si fuera un P.L.C, pero a pequeña escala ya que tienen internamente una memoria donde se quedan almacenados todos los datos de la programación del circuito. Sus principales características del microcontrolador son la buena comunicación serial, amplia gama de memoria interna de 14 bits, cuatro números de puertos A, B, C, D, contiene 40 pines y otras. Las demás características están en los anexos.

Para el control electrónico de las señales de los sensores se seleccionó un PIC 16f877A, porque es el específico para cumplir ciertos requisitos de programación, y por la utilización de sensores.

3.4.15.6. Modulo LCD

El modulo LCD, es el encargado de mostrar los datos recopilado por el microcontrolador de los sensores, tiene un consumo mínimo de 5 mA, principalmente estos módulos son hechos a base de una pantalla de cristal, también como lo conocen como display. Para la muestra de los datos de recopilación de los sensores se seleccionó mediante catalogo un LCD de 2x16, por que concuerda con las características del microcontrolador para el circuito de control de los parámetros de la cámara de secado.

3.4.15.7. Control de flujo de aire

El control de flujo de aire de ingreso a la cámara de secado es de vital importancia, ya que un exceso de flujo de aire caliente o un mínimo, hace que el proceso de secado de almendras de cacao sea ineficiente. Para que estos efectos no incidan en el proceso de secado, se toma la idea de instalar un variador de velocidad o también denominado variador de frecuencia, los parámetros de selección del variador de velocidad, se realizan mediante la potencia, voltaje del motor y el tipo de funcionamiento. Como es el caso del deshidratador solar, se requiere controlar las revoluciones del motor del ventilador centrífugo inducido. Para ello se selecciona un variador de velocidad que controle las revoluciones por minuto de un motor eléctrico monofásico de 0,37 kW, que tiene un consumo de energético de 2,1 A. Con estos parámetros se seleccionó un variador del tipo ABB-ACS150-01E-02A4. Las demás características del variador de velocidad están en los anexos.

La utilización del variador de velocidad para el proceso de secado, también se justifica, porque el deshidratador solar no solo va a deshidratar granos de cacao, ya que con este tipo de deshidratador también se puede secar otros productos agrícolas, ya sea según el tipo, entonces para ello, los producto o granos requieren velocidades de flujo de aire caliente diferentes, y que por lo tanto se requiere que el flujo de aire caliente de ingreso a la cámara de secado sea variable.

3.4.16. Calculo y selección de la unidad fotovoltaica

Debido a que el deshidratador solar, va estar en un lugar fuera de la ausencia de energía eléctrica, entonces se necesita de energía eléctrica para el accionamiento de los componentes del sistema de control del activo, además ya que la implementación del diseño se puede realizar en otras zonas cacaoteras de la zona o nivel nacional, entonces debido ello se realizan los cálculos necesarios para selección de la unidad fotovoltaica para el deshidratador solar. la zona donde se ejecutará el diseño del activo cuenta radiación solar mínima de 925 W/m^2 , en base a esa cantidad de radiación solar se procederá a realizar los cálculos de diseño. Y para ello realizamos un cuadro de cargas del activo

Tabla 16

Cuadro de cargas principales del deshidratador solar

Descripción	Cantidad	Voltaje (V)	Horas de trabajo	Potencia (W)	Corriente (A)	Energía (kWh)
Motor 1	1	220	8	370	1.7	3.0
motor 2	2	220	6	100	0.5	0.6
Focos led	4	220	6	48	0.2	0.3
Total				518	2.4	3.8

Este cuadro de cargas solo muestra las cargas principales, ya que las demás son muy bajas, y por lo tanto no se consideran, pero que, si se asumen para la autonomía del panel solar, entonces de acuerdo ello realizamos los cálculos necesarios para la selección de componentes de la unidad fotovoltaica.

Primeramente, hallamos el coeficiente global de la eficiencia del sistema fotovoltaico.

$$R_{SF} = 1 - \frac{(1 - C_2 - C_3 - C_4) * C_1 * D_a}{P_{D.max} - C_2 - C_3 - C_4}$$

$$R_{SF} = 1 - \frac{(1 - 0,05 - 0,2 - 0,15) * 0,002 * 2}{0,6 - 0,05 - 0,2 - 0,15} = 0,98$$

Donde:

R_{SF} Coeficiente global del sistema fotovoltaico

C_1 Coeficiente de auto descarga diaria (0,002)

C_2 Coeficiente de pérdidas durante la carga y descarga de la batería (0,05)

C_3 Coeficiente de pérdidas en los convertidores de onda senoidal (0,2)

C_4 Pérdidas globales del cableado del sistema fotovoltaico (0,15)

D_a Días de autonomía para la descarga de la batería

$P_{D.max}$ Profundidad máxima de descarga (60%)

3.4.16.1. Calculo de la energía necesaria para el sistema de control

$$E_n = \frac{E_u}{R_{SF}} = \frac{3800Wh}{0.98} = 3877,6 \frac{Wh}{dia}$$

Donde:

E_u Energía útil del consumo de cuadro de cargas

E_n Energía necesaria que tienen que demandar sistema fotovoltaico

3.4.16.2. Calculo de capacidad del acumulador energético

$$C_{Bat} = \frac{E_n * D_a}{P_{D.max}} = \frac{3877,6 * 2}{0,6} = 12925.3 \text{ Wh}$$
$$C_{Bat} = \frac{12925.3 \text{ Wh}}{48V} = 270 \text{ Ah}$$

Donde:

C_{Bat} Capacidad de la batería

3.4.16.3. Calculo del número de baterías en serie paralelo

$$N_{Ba} = \frac{C_{Bat}}{I_{Bat}} * 2 = \frac{270Ah}{105 Ah} * 2 = 6$$

Entonces se utilizarán 4 baterías conectadas en serie paralelo por una autonomía del doble de lo normal, es decir utilizara un banco de baterías, el cual tendrá dos filas de 4 baterías por lado, ya que con este arreglo la tensión nominal de una batería es de 12V, se incrementa en la instalación del banco de baterías en serie, donde la tensión nominal del banco de baterías es de 48 V, entonces la corriente del banco de baterías es de 420 Ah, con el cual observamos que se cumple con la demanda energética del deshidratador solar 300 Ah. En conclusión, el banco de baterías utilizara 4 baterías por fila, y que en total se utilizaran 8 baterías de gel especialmente para sistemas fotovoltaicos. Las características de las baterías están en anexos.

Calculo del aprovechamiento de radiación solar por el panel fotovoltaico, ya que la disponibilidad energética es favorable para la zona de Aramango, la cual la radiación solar esta entre 5,5 kW/m² - 5,0 kW/m². entonces la ecuación será:

$$R_{S.P} = \left(\frac{5,5 + 5}{2} \right) (8h) = 42 \text{ kWh/m}^2$$

3.4.16.4. Corriente del sistema fotovoltaico

$$I_s = \frac{C_{Bat}}{R_{S.P}} = \frac{538,6}{42} = 12,8 \text{ A}$$

3.4.16.5. Calculo del número de paneles solares

$$N_p = \frac{I_{max}}{I_p} = \frac{12.8}{8.17} = 1,56 = 2 \text{ paneles solares de } 250 \text{ Wp}$$

3.4.16.6. Calculo de corriente del regulador de carga

$$I_r = I_p * N_p$$
$$I_r = 8,17 * 2 = 16,34 A$$

De catálogo de selección escogemos a un regulador de carga de 20 A, para una tensión del sistema de 12V.

3.4.16.7. Calculo del inversor de voltaje

Para el dimensionamiento del inversor de tensión, tomamos en cuenta el consumo máximo de energía durante todo el día, la cual el valor es de 3800 W, es el resultado de la sumatoria de todas las cargas principales del deshidratador solar. entonces de acuerdo a mencionado seleccionamos un inversor de los catálogos de energía solar.

$$P_I = 4000 W \quad (48DCV - 220 AC)$$

3.4.16.8. Inclinação optima del panel solar

$$\beta_{opt} = 0,69 + 3,7|\phi| = 21^\circ$$

3.4.16.9. Calculo del dimensionamiento del conductor

Dimensionar bien los conductores eléctricos, para las conexiones eléctricas se disminuye notablemente las perdidas, además las sobrecargas en el conducto y los cortocircuitos. Principalmente para los cálculos de dimensionamiento es aconsejable evaluar una caída tensión máxima de 0,5V, la cual es aceptable para los sistemas fotovoltaicos.

Calculo del conductor del banco de baterías al inversor

Para ello se tiene que calcular la cantidad de corriente que circula entre el banco de baterías y el inversor.

$$I_{max} = \frac{E_u}{n_i * V_{ba}} = \frac{3800}{0.85 * 48} = 93 A$$

Donde:

I_{max} Intensidad de corriente máxima del banco de baterías y el inversor

E_u Energía útil del consumo diario (3,8 kWh)

n_i Eficiencia del inversor de voltaje

V_{ba} Voltaje del banco de baterías

Calculo del conductor de la salida del inversor al tablero de control

$$I_t = \frac{E_u}{V_t} = \frac{3800W}{220V} = 17,27 A$$
$$S_c = \frac{2 * 1,5 * 17,27}{56 * (0,5)} = 1,85 mm^2$$

El calibre del conductor será un 14 AWG, lo cual se selecciona un conductor del GPT-3 que soporta una carga de 19A.

3.4.17. Selección de componentes del circuito de mando y fuerza del tablero de control

La selección de componentes del circuito de mando y fuerza para el ventilador inducido, ya que tiene una potencia de 0.5 Hp, con una tensión de 220V.

3.4.17.1. Selección del guardamotor

ya que intensidad nominal del motor eléctrico en un arranque directo es de 1.06A, entonces seleccionamos de acuerdo a catalogo ABB, un guardamotor de rango de 1.06A a 1.6A. la tabla de selección está en los anexos.

3.4.17.2. Selección del interruptor termomagnetico general

ya que la carga máxima que se entrega en el tablero de control es de 17A, mediante catálogo de ABB, un interruptor termomagnetico bipolar de 20A. La tabla de selección está en los anexos.

3.4.17.3. Selección del contactor

Es necesario que el mando del motor sea externo, entonces para ello se selecciona un contactor AC3 9, para uso general de 25 A, de acuerdo al catálogo de selección se opta por contactor de modelo AFO9. la tabla de selección de esta en los anexos.

La selección de elementos de mando y señalización para el tablero de control, como pulsadores NA/NO, y lámparas de señalización, se realiza mediante el catálogo de ABB, donde la tabla de selección se encuentra en los anexos.

Tabla 17

Selección de los conductores eléctricos del tipo GPT-3 y THW para el sistema fotovoltaico del deshidratador solar. La tabla de selección se muestra en los anexos.

Tramo	Distancia (m)	Corriente (A)	Calibre (AWG)
Conductor eléctrico del panel solar al regulador de carga.	10	16	16
Conductor eléctrico del conductor del regulador de carga al banco de baterías.	4	20	14
Conductor eléctrico del banco de baterías al inversor de voltaje.	2	93	6
Conductor eléctrico del inversor al tablero de control.	1,5	17,21	16
Conductor eléctrico del tablero de control al ventilador centrífugo inducido.	10	5	20

Tabla 18

Resumen de los cálculos de selección de la unidad fotovoltaica para el deshidratador solar.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Energía necesaria para el sistema de control	E_n	3877,6	Wh/día
Calculo de la capacidad de las baterías	C_{Bat}	270	Ah
Calculo del número de baterías	N_{Ba}	8	-
Corriente de selección de las baterías	I_{Ba}	105	Ah
Corriente del sistema fotovoltaico	I_s	16.34	A
Calculo del número de paneles solares	N_p	2	-
Potencia del panel solar	P_p	250	Wp
Calculo del regulador de carga	I_r	20	A
Calculo del inversor	P_I	4000	W

El conductor que va del banco de baterías al inversor es un THW-80, ya que va ir al aire libre, entonces se selecciona un conductor que soporta 107A

3.4.18. Conclusión del cuarto objetivo: Cálculo, diseño y selección de materiales del deshidratador solar

Los cálculos de diseño se realizaron para una masa de 250 kg de almendras de cacao fermentado, con una humedad relativa inicial de 60%, disminuyéndola hasta una humedad final del 8%, con una temperatura de secado de 60°C, con una temperatura promedio inicial de 27°C, donde la humedad del ambiente es 70%. La cantidad agua a evaporar es de 141,3 litros de agua, o también se le podría denominar 141.3 kg de agua a ser evaporada durante el proceso de secado, del cual se necesita una energía de 338,234 MJ para que pueda cumplir con el proceso de secado, ya que intervienen varios calores inmersos en el proceso de secado.

Con el fin de abastecer la demanda de energía para el proceso de secado de 338,234 MJ, se necesita un área efectiva del banco de colectores solares de 24m², de donde se realiza los cálculos de diseño para un colector de 1,5m x 4m, donde cada colector solar entrega un potencia de 4,42 Kw, ya que el banco de colectores está formado por cuatro colectores solares, entonces la potencia que entrega el arreglo de colectores al proceso de secado es de 17.7 kW, en energía útil suministrada por arreglo de colectores sería de 63,5 MJ de energía útil. Cabe recordar que el diseño de los colectores solares esta realizado mediante la radiación solar mínima (925 W/m²) registrada por el Senamhi.

El deshidratador solar cuenta con un respaldo de almacenamiento de energía térmica de 158 MJ de energía útil, para luego ser utilizada cuando el proceso de secado lo requiere, mediante la ausencia de radiación solar.

El tiempo de secado de las almendras de caco es de 18 horas como máximo, ya que este tiempo no es estable debido a los cambios repentinos del clima, además en los cálculos de diseño se realizó con la radiación solar mínima, ya que en días de mayor insolación el tiempo de secado disminuye notablemente, además que el tiempo también puede cambiar por efecto de la velocidad de flujo de aire caliente.

Para el sistema de control del deshidratador solar, se cuenta con una instalación fotovoltaica, con dos paneles solares de 250 Wp, con un arreglo de 8 baterías conectadas en serie paralelo, con el fin de abastecer la demanda máxima de consumo diario de 3800 kWh.

3.5. Realizar la evaluación económica y financiera del deshidratador solar.

En esta última parte del desarrollo de la tesis se realiza una evaluación económica y financiera del costo del diseño del deshidratador solar, para ello se evaluó los costos directos e indirectos incidente en el diseño del activo.

3.5.1. Costos directos

son aquellos costos que están directamente relacionados con directamente con la fabricación del deshidratador solar, en el cual inciden el costo de mano de obra directa, y los materiales.

Tabla 19


Costos directos para el diseño del deshidratador solar

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario		Costo total
1	Madera del tipo tornillo de 0,03x0,2x2m	100	(Pies ³)	S/.	5.00	S/. 500.00
2	Plancha galvanizada de 2mm	10	Unidades	S/.	30.00	S/. 300.00
3	Plancha de aluminio de 2mm	16	Unidades	S/.	62.00	S/.992.00
4	Fibra de vidrio rollos de 12x1,2 0,05m	6	Unidades	S/.	250.00	S/.1500.00
5	Cubiertas transparentes de 1,5x1x0,03 m vidrio templado	32	unidades	S/.	40.00	S/.1280.00
6	Ventilador centrifugo de 0,37kW-220V-AC	1	unidad	S/.	750.00	S/. 750.00
7	Ventilador auxiliares 50W- 220V- AC	2	unidad	S/.	120.00	S/. 240.00
8	Servicio de rolado de planchas galvanizadas	4	unidades	S/.	30.00	S/. 120.00
Continua						→

9	Tubo cuadrado de 20x20x2.5mm	6	unidades	S/.	30.00	S/.	180.00
10	Plancha de aluminio de 6 mm	6	unidades	S/.	100.00	S/.	600.00
11	Pintura anticorrosiva	2	Gln	S/.	40.00	S/.	80.00
12	Pintura negro mate	2	Gln	S/.	55.00	S/.	110.00
13	Tinner acrílico	2	Gln	S/.	25.00	S/.	50.00
14	Ruedas del carro portador de bandejas de secado Ø75xØ17mmx40mm	16	unidades	S/.	8.00	S/.	128.00
15	Servicio de rolado de Conos de acople del colector espesor de 2mm	1	unidades	S/.	50.00	S/.	50.00
16	Servicio de rolado conos ampliación y reducción del ventilador de 2mm	1	unidad	S/.	50.00	S/.	50.00
17	Calamina 0,22x0,8x3,6m	6	unidades	S/.	32.00	S/.	192.00
18	Electrodos E-6011	3	kg	S/.	15.00	S/.	45.00
19	Pernos completos M10x30	16	unidades	S/.	0.50	S/.	8.00
20	Pernos auto perforantes	20	unidades	S/.	0.30	S/.	6.00
21	Pernos de anclaje de ½" x 3"	20	unidades	S/.	0.80	S/.	16.00
22	Discos de corte de 4 ½"x3/64"x7/8"	4	unidades	S/.	10.00	S/.	40.00
23	Disco de desbaste de 4 ½"x1/4"x7/8"	2	unidades	S/.	10.00	S/.	20.00
24	Brocas HSS 6, 8, 10, y 12 mm	6	unidades	S/.	3.00	S/.	18.00
25	Silicona de alta temperatura	10	unidades	S/.	12.00	S/.	120.00
26	Clavos de 1"	1	kg	S/.	7.00	S/.	7.00
27	Clavos de 2"	1	kg	S/.	7.00	S/.	7.00
28	Clavo de calamina 2"	1	kg	S/.	24.00	S/.	24.00
29	Disco de corte madera 4 ½"x3/64"x7/8"	1	unidades	S/.	56	S/.	56.00
30	Remaches 2x25mm	1	kg	S/.	6.00	S/.	6.00
costo total de materiales generales							S/7289.0

Tabla 20

Costos directos de materiales eléctricos

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario		Costo total	
1	Tablero de control	1	unidad	S/.	30.00	S/.	30.00
2	Panel solar 250Wp - 12 VDC	2	unidades	S/.	700.00	S/.	1,400.00
3	Baterías Sbb bright de 150 Ah - 12VDC	8	unidades	S/.	550.00	S/.	4,400.00
4	Regulador de carga 20A	1	unidad	S/.	250.00	S/.	250.00
5	Inversor de 4000W	1	unidad	S/.	1500.00	S/.	1500.00
6	Conductor eléctrico 8 AWG	25	m	S/.	2.00	S/.	50.00
7	Conductor eléctrico 12 AWG	10	m	S/.	1.00	S/.	10.00
8	Conductor eléctrico 3 AWG	6	m	S/.	3.00	S/.	18.00
9	Conductor eléctrico 14 AWG	5	m	S/.	0.80	S/.	4.00
10	Conductor eléctrico 13 AWG	30	m	S/.	0.80	S/.	24.00
11	Sensor de presión PT 5403	1	unidad	S/.	20.00	S/.	20.00
12	Sensor de temperatura LM35	6	unidades	S/.	5.00	S/.	30.00
13	Sensor de humedad HIN400	2	unidades	S/.	8.00	S/.	16.00
14	Circuito de acople	1	unidad	S/.	50.00	S/.	50.00
15	Convertidor de señal A/D	1	unidad	S/.	50.00	S/.	50.00
16	Microcontrolador PIC16F877A	1	unidad	S/.	10.00	S/.	10.00
17	Variador de velocidad	1	unidad	S/.	450.00	S/.	450.00
18	Interruptor termomagnético de 20A	1	Unidad	S/.	60.00	S/.	60.00
19	Guardamotor de 1,2A – 2 A	1	Unidad	S/.	70.00	S/.	70.00
20	Contactor de 25A	1	Unidad	S/.	45.00	S/.	45.00
21	Pulsadores 10A N/A – N/C	2	Unidades	S/.	15.00	S/.	30.00
22	Lámparas de señalización 10A	2	Unidades	S/.	10.00	S/.	20.00
Continúa							

23	Pantalla LCD 16x2	1	unidad	S/.	7.00	S/.	7.00
24	Cable apantallado	20	m	S/.	0.50	S/.	10.00
25	Baquelita	0.5	m	S/.	3.00	S/.	1.50
Costo total de materiales eléctricos							S/. 8530.50

Tabla 21

Costos de mano de obra directa

ítem	Descripción	Unidad	Cant.	Costo diario	Días de trabajo	valor mensual
1	Mecánico	Día/hombre	1	S/. 30.00	7	S/. 210.00
2	Electricista	Día/hombre	1	S/. 30.00	2	S/. 60.00
3	Soldador	Día/hombre	1	S/. 30.00	2	S/. 60.00
4	Obrero	Día/hombre	1	S/. 20.00	7	S/. 140.00
Costo total de mano de obra directa						S/. 470.00

Tabla 22

Costo de diseño del deshidratador solar

ítem	Descripción	Unidad	Cant.	Costo mensual	Meses de trabajo	Costo total
1	Diseñador	Día	1	S/. 1,800.00	0.5	S/. 900.00

Tabla 23

Resumen general de gasto de los costos directos

Ítem	Descripción	Costo Total
1	Costo total directo de materiales generales	S/. 7,289.00
2	Costo total directo de materiales eléctricos	S/. 8,530.50
3	Costo total directo de mano de obra directa	S/. 470.00
4	Costo de total directo de diseño del deshidratador	S/. 900.00
valor total de gastos directos		S/. 17,189.50

3.5.2. Costos indirectos

Los costos indirectos, son aquellos que no están ligados directamente al diseño del deshidratador, pero que sin embargo si cumplen una gran función para que el diseño sea lo más eficiente posible.

Tabla 24

Costos de mano de obra indirecta

ítem	Descripción	Unidad	Cant.		Costo diario	Días de trabajo	valor mensual	
1	Ingeniero	Hora/hombre	1	S/.	65.00	8	S/.	520.00
2	Supervisor	Hora/hombre	1	S/.	45.00	7	S/.	315.00
costo total de mano de mano de obra indirecta							S/.	835.00

Tabla 25

Resumen de gastos totales indirectos

Ítem	Descripción	Costo Total	
1	Costo total directo de mano de obra indirecta	S/.	835.00
Costo total directo de mano de obra indirecta		S/.	835.00

3.5.3. Análisis de los costos

Ya que la inversión inicial del deshidratador solar, incluyen tanto los costos directos e indirectos, del cual, para el diseño y fabricación del mismo, demanda de tiempo, y costos de investigación.

Tabla 26

Análisis de costos totales de inversión en el deshidratador solar

Ítem	Descripción	Costo Total	
1	Costo global de gastos directos	S/.	17,189.50
2	Costo global de gastos indirectos	S/.	835.00
Sub Total de costos		S/.	18,024.50
IGV		17%	S/.
Total de inversión del deshidratador solar		S/.	21,088.67

Cabe resaltar que el diseño del deshidratador va a ser en beneficio de las familias productoras de cacao, del distrito de Aramango, en donde se pueden secar cualquier tipo de granos en el deshidratador, además de carnes, vegetales y otros productos. Mediante el costo de inversión del diseño del deshidratador solar se evalúa el análisis económico del cálculo del TIR y VAN.

Tabla 27

Secado de almendras de cacao

Secado anual de granos de cacao	
Secado	Cantidad Kg
Secado/Día	250
Secado/Mes	5000
Secado/Anual	60000

La producción de granos secos de cacao se realiza aproximadamente en 1.5 días para una masa de 250 kg, entonces quiere decir durante el mes se produce 5000 kg.

Tabla 28

Costos actuales del secado de almendras de cacao

Costo actual de kilogramo/hombre							
ítem	hombre	costo diario	cantidad (kg)	Tiempo de secado (Días)	costo secado (kg)	Costo total	
1	1	S/. 25.00	50	4	S/. 0.50	2.0	
2	2	S/. 50.00	100	4	S/. 0.50	2.0	
3	3	S/. 75.00	150	4	S/. 0.50	2.0	
4	4	S/. 100.00	200	4	S/. 0.50	2.0	
5	5	S/. 125.00	250	4	S/. 0.50	2.0	

Observamos de la tabla que se requiere de cuatro días para secar una masa referencia de 50 kg, con un costo de inversión total por cada kg de 2 soles, del cual, en el análisis económico, se asume un costo de 0,50 céntimos de sol por cada kg de secado de almendras de cacao.

Tabla 29

Ingresos por secado de almendras de cacao

Ingresos por secado de granos de cacao		
Costo secado (kg/Día)	S/.	0.50
Producción anual (kg)		60000
Ingreso mensual	S/.	2,500.00
Ingreso anual	S/.	30,000.00

Tabla 30

Costos por operación y mantenimiento

ítem	Servicio	Cantidad	costo mensual	Meses	Costo anual
1	Operario	1	S/. 850.00	12	S/. 10,200.00

Se necesita de un solo operario para la operación y mantenimiento del deshidratador solar, ya que el diseño no contiene sistemas especiales, que requieran de mano de obra calificada, pero que, sin embargo, el operario está capacitado para la operación y el mantenimiento básico del activo.

Tabla 31

Análisis del TIR y VAN

Inversión			-21088.67
Año	Egresos	Ingresos	Utilidad
0	10200	S/. 30,000.00	S/. 19,800.00
1	10200	S/. 30,000.00	S/. 19,800.00
2	10200	S/. 30,000.00	S/. 19,800.00
3	10200	S/. 30,000.00	S/. 19,800.00
4	10200	S/. 30,000.00	S/. 19,800.00
5	10200	S/. 30,000.00	S/. 19,800.00
6	10200	S/. 30,000.00	S/. 19,800.00
7	10200	S/. 30,000.00	S/. 19,800.00

Tabla 32

Tasas de intereses de iniciales

Tasa de interés	12%
TIR	33%

Tabla 33

Resumen del análisis del VNA y TIR

VNA	S/.84,542.87
TIR	93%

Tabla 34

Resumen de resultados de la relación costo beneficio

Ingresos	S/.149,029.19
Egresos	S/.50,669.93
Egresos + inversión	S/. 71,758.59
Costo/Beneficio	2,076813267

Del resumen de los resultados del análisis de costo beneficio, se tiene que, por cada inversión monetaria en el activo, se recupera el doble del valor inicial de la inversión, con el cual quiere decir que el diseño del deshidratador solar es muy rentable para la inversión, y que deja muchas ganancias por el secado de almendras de cacao.

Tabla 35

Resultados del análisis del retorno de la inversión

Tiempo de recuperación			
Año	Egresos	Ingresos	Utilidad
0	S/. 31,288.67	S/. 30,000.00	-S/. 1,288.67
1	10200	S/. 30,000.00	S/. 18,511.33
2	10200	S/. 30,000.00	S/.38,311.33
3	10200	S/. 30,000.00	S/.58,111.33
4	10200	S/. 30,000.00	S/.77,911.33
5	10200	S/. 30,000.00	S/.97,711.33
6	10200	S/. 30,000.00	S/.117,511.33
7	10200	S/. 30,000.00	S/.137,311.33

En conclusión, se empieza a tener ganancias a partir del segundo año.

3.5.4. Conclusión del quinto objetivo: Evaluación económica y financiera del deshidratador solar

Realizado la evaluación económica del diseño del deshidratador solar, se observa, que la inversión inicial del deshidratador solar es de S/. 21088.67 nuevos soles, lo cual abarca tanto los costos directos y los costos indirectos. Donde se tiene que el mayor gasto se produce en los costos directos, ya que se incluyen los costos de materiales generales con un monto total de S/. 7384 soles, en materiales eléctricos se tiene un costo total de S/. 7539,60, a ello también se le suma el costo de mano de obra directa por la instalación del diseño del deshidratador solar, que cuenta con un costo de S/. 470, y el costo por la realización de diseño del activo, mediante el Software Inventor, se tiene un gasto de S/. 900. En el cual se tiene un costo total de gastos directos de S/. 17189.50. Y en los costos indirectos se cuenta con un gasto de S/. 835 nuevos soles, en donde se este gasto, se debe al servicio de un ingeniero encargado del proyecto, también se le adiciona el servicio de un supervisor responsable del cuidado meticuloso del ensamblaje de todas las partes constituyentes del deshidratador solar.

El deshidratador solar, produce anualmente una masa de 60000 kg de almendras de cacao, mensualmente se tiene una producción de secado de 5000 kg, ya que la masa de secado diario es de 250 kg de granos de cacao. Actualmente los productores de cacao de Aramango pagan S/. 0,80 nuevos soles, para secar una masa de 50kg, con un tiempo de secado de 4 días de radiación solar efectiva. Se asume cobrar S/. 0,50 por cada kilogramo de secado de almendras de cacao, con lo cual se tiene un ingreso anual de S/. 30000 nuevos soles. También se cuenta con costo anual de S/. 10200 nuevos soles, por operación y mantenimiento del activo.

Del resultado del análisis económico y financiero se tiene un valor actual neto (VNA) de S/. 84542,87 nuevos soles, con una tasa interna de retorno (TIR) del 93%, y un costo beneficio de 2.07, con lo cual nos dice que el proyecto es muy rentable. En el cual esto quiere decir que, por cada inversión monetaria, se recupera más de la mitad de la mitad de la inversión inicial, ya que se empieza a tener ganancias a partir del segundo año de la puesta en servicio del deshidratador solar.

IV. DISCUSIONES

En los resultados de la presente tesis “Diseño de un deshidratador solar para optimizar el tiempo de secado de almendras de cacao. En Aramango”, se acepta la hipótesis de solución al problema del proceso de secado de granos de cacao.

Los resultados del primer objetivo de evaluación de los procesos de secado de cacao, se observa que concuerda con las evaluaciones estadísticas por el Ministerio nacional de agricultura y riego (Senamhi), del cual consisten la calidad del grano de cacao, del tipo de secado, del tiempo de secado y las consecuencias de un secado ineficiente de las almendras de cacao, pero que, no se concuerda, es con la estacionalidad de cosecha del cacao, ya que, el cacao en la zona se cosecha antes de los quince días, y la campaña durante el año van desde Marzo, Abril, Mayo y Junio, con el cual también los rendimientos de almendras de cacao por hectárea tampoco coinciden con la base estadística del Senamhi. Pero que sin embargo si considera los datos actuales de la zona de Aramango como base para el inicio del desarrollo de tesis.

En los resultados del segundo objetivo, determinar la capacidad de procesamiento de secado de almendras de cacao. Donde las colindaciones del montaje del activo coinciden netamente con el mapa del departamento de Amazonas, representado por la gerencia regional de Amazonas. La capacidad de producción de almendras de cacao, por hectárea, no concuerdan con la base estadística del Ministerio de Agricultura y Riego, ya que existen plantaciones de cacao que superan los datos estadísticos, pero que sin embargo son considerados como datos base para el diseño. La radiación solar disponible en la zona de Aramango se observa que si está en relación con los datos de Heliofania del Senamhi, estos datos no son netamente iguales, debido a que las mediciones que emite el Senamhi, se realiza desde la estación meteorológica de la Provincia de Bagua, debido a que existe una pequeña diferencia de distanciamiento entre el Distrito y la Provincia, pero que sin embargo los datos radiación solar, recopilados en Aramango si concuerdan, y que el diferencial no es extremadamente desorbitante, por el cual, estos datos si son válidos para el proceso de cálculo.

En los resultados del tercer objetivo, calcular la cantidad de radiación solar disponible en Aramango. En la solución de las ecuaciones astronómicas, recopiladas de fuentes con gran base de científica, observamos que los resultados obtenidos en la radiación solar promedio mensual, si guardan cierta relación, pero que, sin embargo, no son netamente iguales debido a que el Senamhi valida sus datos con los instrumentos de alta gama de precisión, por tal motivo es que existe cierto diferencial de resultados.

Los resultados del cuarto objetivo, calcular, diseñar y seleccionar los materiales para el deshidratador solar. se observa que la cantidad de agua separa o evaporar de las almendras de cacao, la humedad de equilibrio en granos de cacao, determinación de las dimensiones de la cámara de secado, y calores inmersos en proceso de secado, si concuerdan con los resultados de Caballero (2015), en las ecuaciones aplicadas, pero que no son netamente iguales, debido a que se manejan diferentes masas de secado de granos de cacao, diferente lugar de aplicación y diferente recurso energético de utilización para el proceso de secado de almendras de cacao. En los cálculos de diseño, se muestra que los resultados si coinciden, con los cálculos de diseño del colector solar de la tesis de Maureira (2006), pero que, existen ciertas diferencias, debido al tipo de diseño, al método de secado de granos de cacao, y lugar de aplicación. Pero no se está de acuerdo con los resultados del área de captación de radiación solar por los colectores solares, porque el autor no ha aplicado netamente el resultado obtenido, que si no más bien a optado por una mucho menor, se desconocen las causas, del por qué, del cual en esta tesis si aplica los resultados obtenidos de captación de radiación solar para el diseño del banco de colectores solares. En el cálculo de efecto de sombra no se está de acuerdo al Manual técnico de energía solar térmica del autor Valeria (2013), por que las ecuaciones mostradas, para hallar la distancia mínima de separación que debe de haber de colector a colector no se cumple, pero sin embargo se hizo una validación con el libro Solar Engineering of Thermal Processes de los autores Duffie y Beckman (2013).

En los resultados del quinto objetivo, evaluación económica y financiera del deshidratador solar, se demuestran que el análisis económico, estas guardan cierta relación con el análisis económico del valor actual neto y la tasa interna de retorno.

V. CONCLUSIONES

Los productores de cacao del Distrito de Aramango, actualmente se tardan en secar los granos de cacao, durante 4 días, con una radiación solar efectiva. A causa del secado ineficiente, los granos de cacao pierden sus cualidades, y por ende su calidad, ya que, el cacao por ser un grano higroscópico, absorbe humedad del exterior, cuando se expone a ambientes húmedos. El 67% de la población analizada, necesitan al menos dos personas, para el secado de cacao de 50 kg.

El diseño del deshidratador solar, realizara sus funciones para cual fue diseñado en el distrito Aramango, Provincia Bagua, departamento Amazonas. Se ubica en una latitud sur de ($5^{\circ} 25' 10.5''$), con una longitud oeste de ($78^{\circ} 26' 10.1''$) y una altitud de (517 m.s.n.m). El 60% de cultivadores de cacao obtienen un rendimiento promedio de 600 kg/ha, en la actualidad ya existen plantaciones que superan los 1000 kg/ha. Para el diseño del deshidratador solar asumiremos desecar una masa de 250 kg, de cacao fermentado, con una humedad inicial de 60%, y reducirlo hasta 7% de humedad final.

Se realizó el desarrollo de las ecuaciones astronómicas, con el fin de obtener un valor referencial de la cantidad de radiación incidente sobre superficies horizontales e inclinadas. Las cantidades reales de radiación solar son tomadas por el Senamhi, las mismas que serán tomadas para el diseño del deshidratador solar.

La cantidad agua a evaporar es de 141,3 litros de agua, del cual se necesita una energía de 338,234 MJ para que pueda cumplir con el proceso de secado, se cuenta con un arreglo de 4 colectores, la cual entrega 63,5 MJ de energía útil. El deshidratador solar cuenta con un respaldo de almacenamiento de energía térmica de 158 MJ de energía útil, para ser utilizada cuando el proceso lo requiera. Donde el tiempo de secado aproximado es de 18 horas de radiación solar efectiva.

Para el sistema de control del deshidratador solar, se cuenta con una instalación fotovoltaica, con dos paneles solares de 250 Wp, con un arreglo de 8 baterías conectadas en serie paralelo, con el fin de abastecer la demanda máxima de consumo diario de 3800 kWh, también se realizó el diseño del circuito electrónico con un microcontrolador, para los detalles de las señales de los sensores de humedad, presión y temperatura del proceso de secado de almendras de cacao.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda que la municipalidad distrital de Aramango, invierta más dinero en energías renovables, con el fin de brindarles mayores beneficios a su población, del cual el recurso energético renovable es abundante en la zona.

Es de vital importancia que antes de iniciar el proceso de cálculo, tanto para sistemas térmicos y fotovoltaicos, se requiere de información precisa, conocer al detalle la radiación solar de la zona, donde se recomienda utilizar los datos de radiación por el Senamhi.

En lo posible se recomienda que el proceso de secado de almendras de cacao, se realice a una temperatura no mayor de 60°C, del contrario los granos se volverían muy quebradizos, y esto causaría que el grano incremente su acidez más de lo normal. Además, se recomienda el flujo de aire caliente sea variable para el ingreso a la cámara de secado.

Se recomienda que el ángulo de inclinación del panel solar y del colector, sea la latitud de la zona más el ángulo de inclinación del cálculo encontrado, del cual es necesario en lo posible tomar los datos de radiación solar por el Senamhi.

Se recomienda que la estructura de madera del deshidratador, se realice un tipo de protección contra la proliferación de agentes externos, ya que de lo contrario el tiempo de duración de la madera disminuye.

Se recomienda que en lo posible disminuir las pérdidas térmicas de diseño de deshidratador solar, cámara de secado, con el fin de incrementar la eficiencia del proceso de secado de almendras de secado.

Se recomienda que, durante el proceso de secado de almendras de cacao, se verifiquen las señales de los sensores instalados, con el fin de poder controlar la calidad de los granos de cacao en la cámara de secado.

Se recomienda que se investigue más sobre la utilización de energías renovables, ya que, por ser una fuente de energía inagotable, es ideal para los diseños de nuevas formas de energía, obteniendo grandes beneficios, para que así se contribuya con la disminución de contaminación del medio ambiente, y por lo tanto disminuir el consumo de los combustibles fósiles.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BENITES, Juan Manuel. Perú es tercer productor de cacao en Latinoamérica ¿pero ¿cuánto aportara este año? [En línea]. *Gestion.PE*. 01 de junio del 2016. [Fecha de consulta: 18 de setiembre de 2016].
Disponible en:
<http://gestion.pe/economia/peru-tercer-productor-cacao-latinoamerica-cuanto-exportara-este-ano-2162202>.
2. BERGUES Ricardo, Ciro Cesar, BERRIZ Pérez, Luis, GRIÑÁN Villafañe, Pedro, Secadores solares directos: Una experiencia para su extensión y generalización en la zona oriental de Cuba Tecnología Química [en línea] 2013, XXXIII (Enero-Abril): [Fecha de consulta: 27 de septiembre de 2016]
Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543778004>> ISSN 0041-842
3. CABALLERO Cava, José Arturo. Diseño de una secadora de cacao para almacenaje con capacidad de 2 T/DIA. Tesis (Título de ingeniero mecánico). Lima: Pontificia universidad católica del Perú, Facultad de ciencias e ingeniería, 2015. 114 pp. [Fecha de consulta: 05 de mayo de 2017].
Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6199>
4. CENGEL, Yunus A. y BOLES, Michael A. Termodinámica. 8.a ed. México: McGraw-Hill Education. 2015. 1026 pp.
ISBN: 978-607-15-1281-9
5. ESCALANTE Delgado, Félix. Desarrollo de un prototipo de tostador de granos de cacao de 6 Kg/hora que funcione con energía solar concentrada. Tesis (Título de ingeniero mecánico). Lima: Pontificia universidad católica del Perú, Facultad de ciencias e ingeniería, 2015. 105 pp. [Fecha de consulta: 05 de mayo de 2017].
Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6108>
6. ESPINOZA S., Jaime, Innovación en el deshidratado solarIngeniare. Revista Chilena de Ingeniería [en línea] 2016, 24 (agosto-Sin mes): [Fecha de consulta: 28 de marzo de 2017] Disponible
en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77246913010>> ISSN 0718-3291
7. DUFFIE, John A. y BECKMAN, William A. Solar Engineering of Thermal Processes [En línea]. 4. a ed. New Jersey: Wiley, 2013 [fecha de consulta: 05 de abril de 2017].
Disponible en: Solar%20Engineering%20 of%20 Thermal%20 Processes, %204th%20Edition%20-%20 GearTeam%20(4) %20(1).pdf
ISBN: 978-0-470-87366-3

8. GROSSI, Gallegos Hugo. Notas sobre radiación solar [En línea]. 1.a ed. Argentina. 2002 [fecha de consulta: 15 de abril de 2017].
Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/311375862>
ISBN: 987-9285-19-0
9. ITC (Instituto tecnológico de Canarias). Energías renovables y eficiencia energética [En línea]. 2.a ed. Canarias. 2008 [fecha de consulta: 8 de abril de 2017].
Disponible en: <http://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>
ISBN: 978-84-69093-86-3
10. ITESO (Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente). Notas sobre el curso de Energía Solar [en línea]. Tlaquepaque, Jalisco. Febrero 1995, [Fecha de consulta: 02 de octubre del 2016].
Disponible en:
http://www.solartronic.com/download/curso_iteso.pdf
11. JIMBO Yépez, Cesar Ricardo y ARBOLEDA Muños, Freddy Alexander. Diseño mecánico y construcción de un secador de cacao (teobroma cacao L.) al vacío para medianos y grandes productores en la provincia de Manabí. Tesis (Título de ingeniero mecánico). Guayaquil - Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de ingeniería en mecánica y ciencias de la producción, 2016. 103 pp. [Fecha de consulta: 02 de octubre del 2016].
Disponble: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/34444>
12. MIRANDA Lara, Br. Georgina. Evaluación del proceso de secado de granos de cacao fermentado, en un secador de bandejas con convección forzada de aire. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Barcelona: Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Departamento de Ingeniería Química, 2011.
Disponble en: <http://ri.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/1578/1/06-TEISIS.IQ011.M50.pdf>
13. MAUREIRA Poveda, Juan Pablo, Diseño y simulación de un secador de granos de cacao con colectores solares planos mediante convección forzada para una capacidad de 500 kg. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Sangolquí – Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército, Facultad de ingeniería Mecánica Diseño, 2006. 349 pp. [Fecha de consulta: 05 de mayo del 2017].
Disponble en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/978>

14. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Manual de manejo técnico del cacao de Piura [en línea]. 1 ra. Ed. Lima, 2012. [Fecha de consulta: 26 de octubre de 2016].
Disponible en:
<http://www.swisscontact.org.pe/sites/default/files/Manual%20de%20cacao,%2024.09.pdf>.
ISBN: 2098800 (2255).
15. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Caracterización de las zonas productoras de cacao en el Perú y su competitividad [en línea]. Lima. 2003, [Fecha de consulta: 02 de octubre del 2016].
Disponible en: <http://www.infocafes.com/descargas/biblioteca/19.pdf>
16. MINAGRI (Ministerio de agricultura y riego). Estudio del cacao en el Perú y en el mundo [en línea]. Lima. Julio 2016, [Fecha de consulta: 03 de marzo del 2017].
Disponible en: <http://www.minagri.gob.pe/portal/comercio-exterior>
17. MORA Carnaqui, Alex John, Diseño de un secador rotatorio para granos de cacao con capacidad de 3 toneladas diarias para la producción nacional. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Guayaquil – Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de ingeniería Mecánica y Ciencias de la producción, 2015. 114 pp. [Fecha de consulta: 05 de mayo de 2017].
Disponible <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/35067>
18. PERPIÑAN, Oscar. Energía solar fotovoltaica [En línea]. Vol. 1.8. España. Marzo 2015 [Fecha de consulta: 15 de marzo de 2017].
Disponible en: <https://github.com/oscarperpinan/esf>
19. SHYAM S. Nandwani, energía solar-conceptos básicos y su utilización. [en línea] 2013, (01 de marzo): [Fecha de consulta: 25 de marzo de 2017].
Disponible en:
http://www.catalogosolar.mx/download/Energia_Solar_Conceptos_Basicos.pdf
20. TIEN-BOH, Luck, Analytical study and fabrication of a solar-based dryer for pepper-drying (agricultural product drying). [En línea]. National Library of Australia. 2013, [Fecha de consulta: 28 de septiembre de 2016]
Disponible en: <http://hdl.handle.net/1959.3/354192>

21. TREYBAL, Robert E. Operaciones de transferencia de masa [En línea]. 2.a ed. México: McGraw-Hill Education. 2015 [Fecha de consulta: 20 de marzo de 2017].
Disponible en:
<http://bligoo.com/media/users/1/87871/files/Operaciones%20de%20Transferencia%20de%20Masa%20by%20Treybal.pdf>
22. UNODC (Oficina de las naciones unidas contra la droga y el delito para el Perú y el Ecuador). Paquete tecnológico del cultivo de cacao fino de aroma [en línea]. Lima. 2014, [Fecha de consulta: 02 de octubre del 2016].
Disponible en:
[http://www.devida.gob.pe/uploads/libros/Paquete Tecnologico Cultivo Cacao.pdf](http://www.devida.gob.pe/uploads/libros/Paquete_Tecnologico_Cultivo_Cacao.pdf)
23. YOMALI Ospina, Diana, TINOCO Héctor A., análisis del proceso de deshidratación de cacao para la disminución del tiempo de secado. Revista EIA [en línea] 2010, (Julio-Sin mes): [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2016].
Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149213727004>>
ISSN 1794-1237
24. VALERIA, Gonzalo Abal. Manual técnico de energía solar térmica [En línea]. Vol.1. Montevideo-Uruguay. 2013 [fecha de consulta: 15 de abril de 2017].
Disponible en:
http://www.energiasolar.gub.uy/documentos/capacitacion/manual_tecnico_solar_termica.pdf
ISBN: 178-9974-0-0910-3
25. OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE. Secado de granos a altas temperaturas [en línea] 1991. [Fecha de consulta: 06 de junio de 2017].
Disponible en:
http://ftpmirror.your.org/pub/misc/cd3wd/1005/_ag_drying_grains_high_temp_10_es_unfao_lp_106120_.pdf
26. OLIVEROS Tascon, Carlos, PARRA Coronado, Alfonso, ROA Mejía, Gonzalo. Modelamiento y simulación matemática en el secado mecánico de café pergamino. Revista Brasileira de ingeniería agrícola e ambiental [en línea] 2008. [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2016].
Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n4/v12n04a13.pdf>
ISSN 1807-1929

VIII. ANEXOS

Índice de anexos

8.1. Planos generales del deshidratador solar	173
8.1.1. Planos de diseño del deshidratador solar	173
8.1.1.1. Ensamble general del deshidratador solar	173
8.1.1.2. Plano de despiece del deshidratador solar	176
8.1.1.3. Ensamble de la cámara de secado	177
8.1.1.4. Plano de despiece de la cámara de secado.....	178
8.1.1.5. Planos de detalle del ensamble de la cámara de secado	179
8.1.1.5.1. Cámara de secado.....	179
8.1.1.5.2. Acumuladores térmicos.....	180
8.1.1.5.3. Ensamble del carro portador de bandejas de secado	181
8.1.1.5.3.1. Despiece del carro portador de bandejas	182
8.1.1.5.3.2. Estructura del carro portador de bandejas	183
8.1.1.5.4. Placa base de la rueda giratoria.....	184
8.1.1.5.5. Bandeja de secado	185
8.1.1.5.6. Aislante térmico superior de la cámara de secado.....	186
8.1.1.5.7. Techo de la cámara de secado	187
8.1.1.6. Ensamble del colector solar.....	188
8.1.1.7. Plano de despiece del colector solar.....	189
8.1.1.8. Planos de detalle del colector solar.....	190
8.1.1.8.1. Cubierta exterior del colector solar.....	190
8.1.1.8.2. Aislamiento térmico del colector solar.....	191
8.1.1.8.3. Porta cubiertas de transparentes y absorbadora	192
8.1.1.8.4. Placa absorbadora	193
8.1.1.8.5. Cubiertas transparentes	194
8.1.1.8.6. Acople de reducción del colector	195
8.1.1.9. Ensamble del ventilador centrífugo inducido.....	196
8.1.1.10. Plano de despiece del ventilador centrífugo inducido	197
8.1.1.11. Tubo de succión de aire caliente.....	198
8.1.1.12. Tubo de conexión a la cámara de secado.....	199
8.1.1.13. Conos de acople del ventilador	200

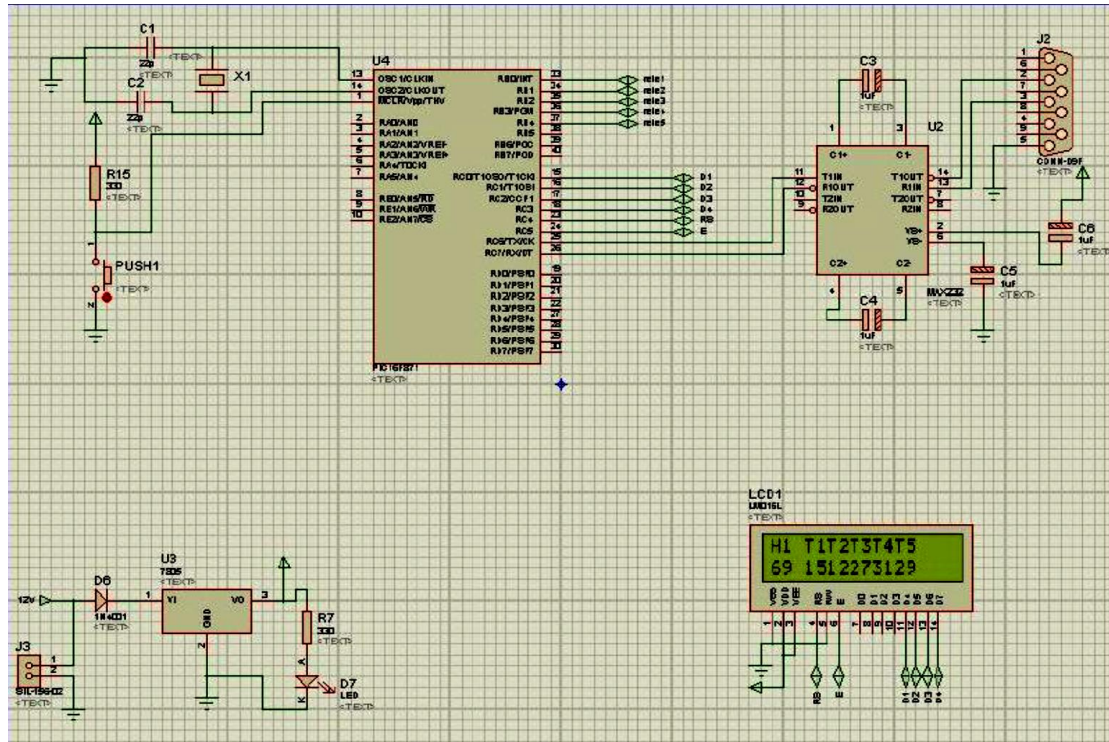
8.1.2. Planos eléctricos del deshidratador solar	202
8.1.2.1. Plano unifilar del sistema fotovoltaico	202
8.1.2.2. Plano unifilar del circuito de mando y fuerza del ventilador.....	203
8.1.2.3. Programación del microcontrolador PIC 16F877A	204
8.1.2.4. Circuito electrónico del monitoreo de los parámetros de secado	207
8.2. Selección de componentes eléctricos y mecánicos.....	208
8.2.1. Características de los sensores de control de secado	208
8.2.2. Selección del variador de velocidad	209
8.2.3. Selección del panel solar	210
8.2.4. Selección del regulador de carga	211
8.2.5. Selección del acumulador eléctrico	212
8.2.6. Selección del inversor	213
8.2.7. Selección del interruptor termomagnético	214
8.2.8. Selección del guardamotor	215
8.2.9. Selección del contactor	216
8.2.10. selección de componentes de mando y señalización.....	217
8.2.11. Selección de conductores eléctricos	218
8.2.12. Selección del ventilador inducido	219
8.3. Tablas	220
8.3.1. Radiación solar evaluada el 01/05/2017	220
8.3.2. Radiación solar evaluada el 02/05/2017	221
8.3.3. Radiación solar evaluada el 03/05/2017	222
8.3.4. Radiación solar evaluada el 04/05/2017	223
8.3.5. Radiación solar evaluada el 05/05/2017	224
8.3.6. Radiación solar evaluada el 06/05/2017	225
8.3.7. Evaluación de la temperatura en Aramango	226
8.3.8. Radiación solar estación Bagua	227
8.3.9. Conductividades térmicas de los materiales comunes.....	228
8.4. Instrumentos de recolección de datos	229
8.4.1. Cuestionario de encuestas	230
8.4.2. Guías de observación	233
8.5. Papers de revistas científicas.....	236

Programación del microcontrolador PIC16F877A

El circuito del monitoreo de los parámetros de secado (temperatura, humedad y presión), se realizó mediante el software proteus.

Figura 49

Fuente: elaboración propia



INCLUDE "MODEDEFS.BAS"

```
define OSC 4
define LCD_DREG PORTC
DEFINE LCD_DBIT 0
DEFINE LCD_RSREG PORTC
DEFINE LCD_RSBIT 4
DEFINE LCD_EREG PORTC
DEFINE LCD_EBIT 5
'-----CONFIGURACION DE PUERTOS-----
'TRISB=0 'Todo el puertos salidas
TRISA=255
t0 VAR BYTE
t1 VAR BYTE
t2 VAR BYTE
t3 VAR BYTE
t4 VAR BYTE
t5 VAR BYTE
p0 VAR BYTE
p1 VAR BYTE
p2 VAR BYTE
p3 VAR BYTE
p4 VAR BYTE
p5 VAR BYTE
dato VAR BYTE
```

```

i VAR WORD
j VAR WORD
k VAR WORD
adcon1=%0000      ;Todo el puerto A y E es analógico

LCDOUT $FE,1      ;limpia pantalla y ubica el cursor en posiscion 1
LCDOUT $FE,1,"SECADOR DE CACAO"
LCDOUT $FE,$C0,"ENERGIA SOLAR"
LOW portb.0
PAUSE 2000
LCDOUT $FE,1,"H1 T1T2T3T4T5"
LCDOUT $FE,$C0,"11 22334455"
i=0
j=0

inicio:
temp0:
    ADCON0=%01000001      'Canal 0
    gosub medir
t0=ADRESH

temp1:
    ADCON0=%01001001      'Canal 1
    GOSUB medir
t1=ADRESH
t1=t1/2

temp2:
    ADCON0=%01010001      'Canal 2
    GOSUB medir
t2=ADRESH

temp3:
    ADCON0=%01011001      'Canal 3
    GOSUB medir
t3=ADRESH
t3=t3+6
temp4:
    ADCON0=%01100001      'Canal 4
    GOSUB medir
t4=ADRESH

temp5:
    ADCON0=%01101001      'Canal 5
    GOSUB medir
t5=ADRESH
LCDOUT $FE,$C0,#t1
LCDOUT $FE,$C3,#t0
LCDOUT $FE,$C5,#t2
LCDOUT $FE,$C7,#t3
LCDOUT $FE,$C9,#t4
LCDOUT $FE,$CB,#t5
i=i+1
pause 1000
SERIN2 portc.7,84,20,nx,[dato]

```

```

IF dato="Z" THEN

    SEROUT2 portc.6,84,[DEC3 p1,"-",DEC3 p0,"-",DEC3 p2,"*"]
    PAUSEUS 100
    SEROUT2 portc.6,84,[DEC3 p3,"-",DEC3 p4,"-",DEC3 p5,"*"]
ENDIF

IF i=1800 THEN
    LCDOUT $FE,$1,"dato grabado"
    WRITE j,t1
    ' read j,p1
    j=j+1
    WRITE j,t0
    ' read j,p0
    j=j+1
    WRITE j,t2
    ' read j,p2
    j=j+1
    WRITE j,t3
    ' read j,p3
    j=j+1
    WRITE j,t4
    ' read j,p4
    j=j+1
    WRITE j,t5
    ' read j,p5
    j=j+1

    PAUSE 1000
    LCDOUT $FE,1,"H1 T1T2T3T4T5"
    LCDOUT $FE,$C0,#p1
    LCDOUT $FE,$C3,#p0
    LCDOUT $FE,$C5,#p2
    LCDOUT $FE,$C7,#p3
    LCDOUT $FE,$C9,#p4
    LCDOUT $FE,$CB,#p5
    PAUSE 100
    LCDOUT $FE,$1,"dato PRObado"
    PAUSE 1000
    LCDOUT $FE,1,"H1 T1T2T3T4T5"
    i=0
ENDIF
GOTO inicio
medir:
PAUSEUS 50
adcon0.2=1
    PAUSEUS 50
    RETURN

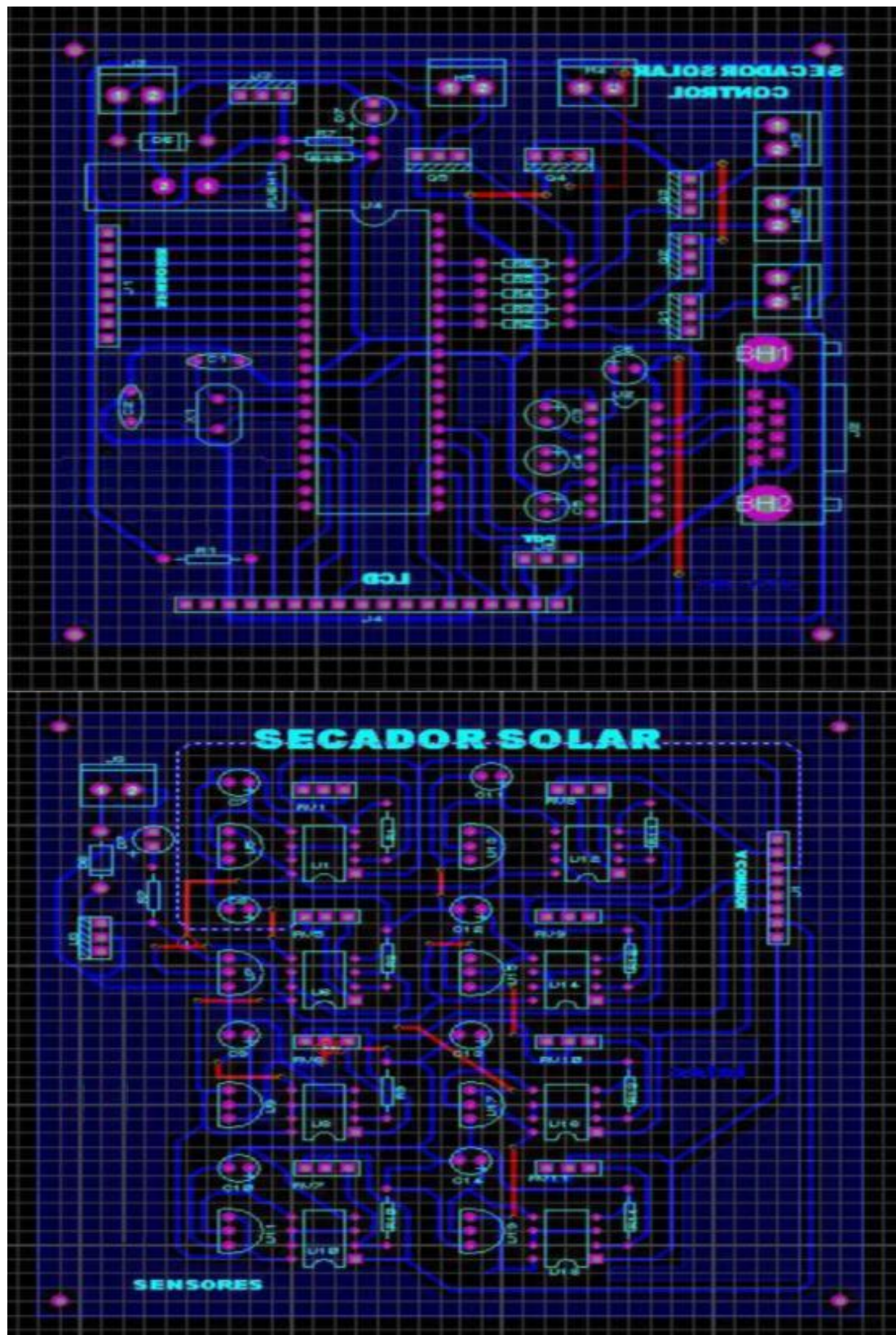
nx: GOTO inicio

END

```


Figura 50

Fuente: elaboración propia

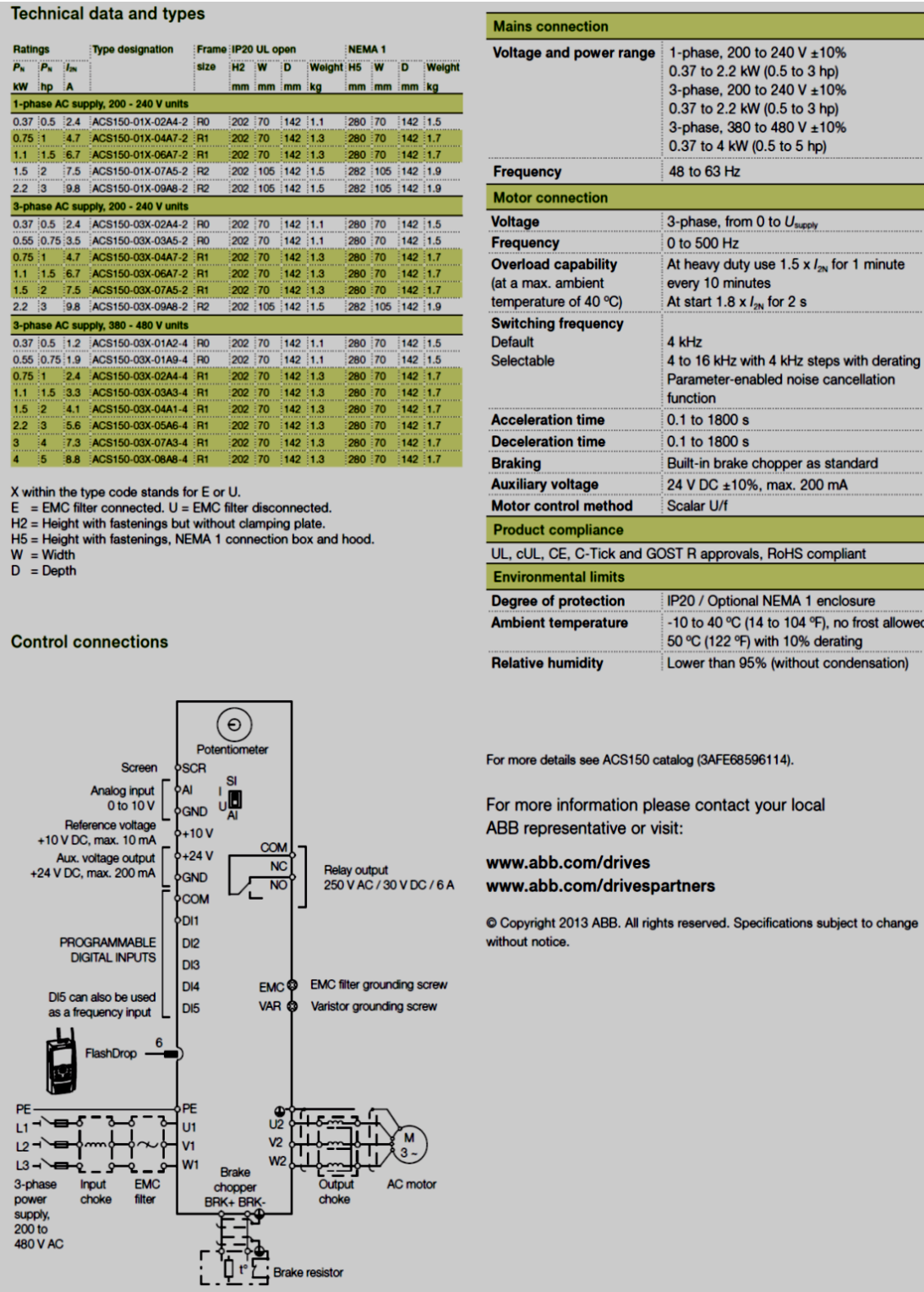


Circuito electrónico de monitoreo del proceso de secado

Variador de velocidad

Figura 51

Fuente: Catálogo productos de baja tensión ABB



Características de selección del variador de velocidad

Panel solar de 250 Wp

Figura 52

Fuente: Catálogo productos fotovoltaicos SUNSET

Serie modulo SUNplatinum® /60

AS 240, 245, 250, 255, 260, 265, 270/60

Especificaciones técnicas AS		240	245	250	255	260	265	270
Potencia nominal (±5%)	P_{max} [W _p]	240	245	250	255	260	265	270
Intensidad nominal	I_{MP} [A]	7.95	8.05	8.17	8.32	8.45	8.49	8.53
Tensión nominal	V_{MP} [V]	30.3	30.4	30.5	30.6	30.7	31.2	31.6
Corriente de cortocircuito	I_{sc} [A]	8.50	8.65	8.80	8.95	8.90	9.06	9.07
Tensión de circuito abierto	V_{oc} [V]	37.2	37.3	37.4	37.6	37.4	38.5	39.0

Potencia pico bajo condiciones de test (STC: 1000 W/m², 25°C, espectro AM 1,5)

Especificaciones técnicas AS		240	245	250	255	260	265	270
Potencia nominal	P_{max} [W _p]	174	177	181	184	188	192	195
Intensidad nominal	I_{MP} [A]	6.39	6.47	6.57	6.69	6.79	6.89	7.00
Tensión nominal	V_{MP} [V]	27.2	27.3	27.4	27.5	27.6	27.7	27.9
Corriente de cortocircuito	I_{sc} [A]	6.81	6.93	7.05	7.09	7.13	7.21	7.30
Tensión de circuito abierto	V_{oc} [V]	34.2	34.3	34.4	34.4	34.4	34.6	34.9

Potencia pico bajo condiciones de test (NOCT: 800 W/m², 48± 2°C, espectro AM 1,5)

Características en el diseño del sistema

Clase protección		II	Rango de temperatura (TC)	[°C]	-40 ... +85
Tensión del sistema	V_{sys} [V]	1000	Coefficiente de temperatura I_{sc}	α [%/K]	+ 0.039
Protección por sobrecorriente	I_r [A]	15	Coefficiente de temperatura V_{oc}	β [%/K]	- 0.33

Características mecánicas

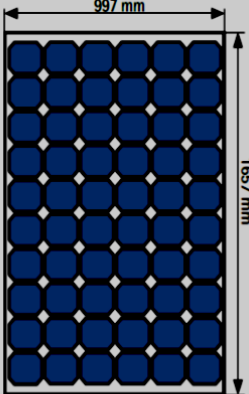
Cubierta frontal	2.1 mm solar glass	Clase de protección	toma de corriente IP 65
Cubierta trasera	2.1 mm solar glass	Cable de conexión	Multi Contact MC4 o compatible
Tipo de célula	mono crystalline	Peso	21.9 kg
Dimensiones	1657 x 997 x 47 mm	HL-test	5400 Pa

En el curso de los años la empresa SUNSET ha fijado otros parámetros con los estándares de calidad. Una calidad constante se garantiza con pruebas hechas regularmente. Un control visual, eléctrico y técnico serio hecho sobre cada módulo. Esto se puede reconocer a través de la etiqueta SUNSET, el número de serie, y la garantía de SUNSET.

- 10 años garantía del producto
- 10 años garantía de rendimiento respecto a una prestación del 90%
- 30 años garantía de rendimiento respecto a una prestación del 80%
- Informaciones detalladas se encuentran en nuestras condiciones de garantía
- Conforme según IEC 61730 y IEC 61215 (Certificado en preparación)

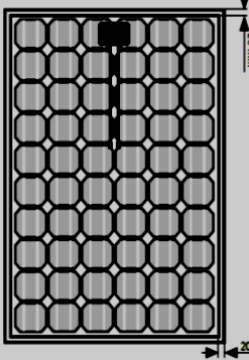
997 mm

1657 mm



20 mm

20 mm



Características de selección del panel solar

210

Regulador de carga de la batería

Figura 53



SUNSAVER

Regulador

- Carga de baterías PWM
- Alta calidad
- Última tecnología en electrónica de potencia
- Última tecnología en control y lógica
- Diseño compacto
- En paralelo para 40A o más
- 5 años de garantía
- Amplia gama

Fuente: Catálogo Hispania solar todo en fotovoltaica

Características mecánicas

Tamaño del cable: 6mm²
Caja de aluminio anodizado
Terminales con especificaciones marinas
Encapsulado en epoxy
Peso: 0,23Kg

Características eléctricas

	12 voltios	24 voltios
Entrada solar especificada	6,5/10/20A	
Carga especificada	6/10/20A	
Sobrecarga del 25% de corriente	5 min	5 min
Regulación de tensión:		
1/ Batería gel, AGM	14,4V	28,2V
2/ Batería plomo-ácido	14,4V	28,8V
Desconexión de carga	11,5V	23,0V
Reconexión de LVD	12,6V	25,2V
Compensación de temperatura	-28 mV/°C	-56 mV/°C
Consumo propio	6 a 10mA	
Temperatura de trabajo	-40 a + 85°C	

Características de selección del regulador de carga

Acumulador eléctrico (Batería)

Figura 54



Formula Star son baterías de Plomo-ácido abiertas para almacenar energía eléctrica en sistemas fotovoltaicos.

INFORMACIÓN DE DISEÑO

- Placas y separadores especiales.
- Larga vida en ciclos de carga y descarga.
- Reducido consumo de agua.
- Menor sensibilidad a las sobrecargas imprevistas.
- Reducida auto-descarga.
- Mayor tensión de descarga mediante conexiones interiores más cortas.
- Material plástico con alta resistencia a los impactos fortuitos.
- Baterías estacionarias especialmente diseñadas para instalaciones fotovoltaicas



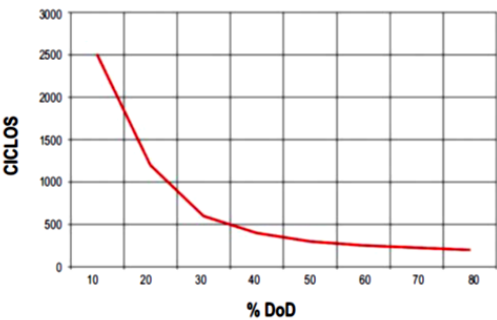
APLICACIONES

- Casas, campers, barcos, estaciones de montaña
- Semáforos y señales de tráfico
- Iluminación en calles y parques
- Estaciones de medida, estaciones de bombeo, etc

DATOS TÉCNICOS (TEMPERATURA REFERENCIA 25°C)

MODELO	V	Capacidad C100 (Ah)	Dimensiones (mm)		
			Largo	Ancho	Alto
FORMULA STAR FS 70 SOLAR	12	66	242	175	190
FORMULA STAR FS 80 SOLAR	12	80	274	175	190
FORMULA STAR FS 110 SOLAR	12	105	350	175	190
FORMULA STAR FS 155 SOLAR	12	155	513	189	223
FORMULA STAR FS 200 SOLAR	12	195	513	223	223
FORMULA STAR FS 240 SOLAR	12	240	513	274	239
FORMULA STAR FS 260 SOLAR	12	260	518	276	242

NÚMERO DE CICLOS EN FUNCIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE DESCARGA



OPERACIÓN

- Curvas de carga: WUa, IUa, IUoU y IUloU.
- No descargar la batería por encima del 80%.
- La batería debe ser recargada al 100% al menos cada 1-4 semanas.
- El trabajo en flotación a tensiones muy altas puede suponer un consumo excesivo de agua.

Características de selección del acumulador eléctrico

Inversor de voltaje

Figura 55



Inversor Phoenix

Onda senoidal pura

- Extraordinaria potencia de arranque
- Tecnología de alta frecuencia
- Bajo consumo sin carga
- Parámetros configurables por software
- Salida para contacto libre de potencia
- Conexión en paralelo o trifásica

Gran potencia instantánea

La tecnología SinusMax permite alcanzar una potencia instantánea muy elevada, imposible de conseguir con los sistemas convencionales de alta frecuencia. Así pues, los inversores Phoenix resultan muy adecuados para la alimentación de aparatos que requieren una elevada potencia de arranque como neveras, congeladores, aires acondicionados y similares. Un modelo 24/1200, por ejemplo, es adecuado para alimentar una nevera.

Fuente: Catálogo Hispania solar todo en fotovoltaica

Inversor Phoenix	C12/1200 C24/1200	C12/1600 C24/1600	C12/2000 C24/2000	12/3000 24/3000 48/3000	24/5000 48/5000
INVERSOR					
Referencia	CIN(12624)1220000	CIN(12624)1620000	CIN0(12624)2020000	PIN0(12624648)3020000	PIN(24648)5020000
Voltaje de entrada (V DC)	9,5-17V 19-33V 38-66V				
Voltaje de salida (V AC) (1)	230 ± 2%				
Frecuencia (Hz) (2)	50/60 ± 0,1% (seleccionable por interruptor)				
Potencia cont. de salida a 25°C (VA) (5)	1200	1600	2000	3000	5000
Potencia cont. de salida a 25°C (W)	1000	1300	1600	2500	4500
Potencia cont. de salida a 40°C (W)	900	1200	1450	2200	4000
Potencia máxima/pico (W)	2400	3000	4000	6000	10000
Rendimiento máximo (%)	92/94	92/94	92/92	93/94/95	94/95
Consumo en vacío (W)	8/10	8/10	9/11	15/15/16	25/25
Consumo en vacío en modo AES (W)	5/8	5/8	7/9	10/10/12	20/20
Consumo en vacío modo Search (W)	2/3	2/3	3/4	4/5/5	5/6
Protecciones (3)	a-g				
Caract. comunes	Temp. trabajo: -20 a + 50°C (refrigerado por ventilador) / Humedad sin condensación máx. 95%				
Relé programable (4)	Sí				

Características de selección del inversor de voltaje

Interrupor termomagnético

Figura 56

Fuente: Catálogo de productos de baja tensión ABB

Usos: para protección contra cortocircuitos y sobrecargas; ideal para uso en alumbrado, tomacorrientes y eléctricos en general. Curva C (circuitos óhmicos e inductivos)

Aplicación: residencial (Norma IEC/EN 60898)
comercial e industrial (Norma IEC/EN 60947-2)

S200 UNIPOLARES (Curva C, $I_m = 5$ a $10 I_n$)

CÓDIGO DE FÁBRICA	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO (1 POLO, CURVA C)	CORRIENTE NOMINAL I_n (A)	CORRIENTE NOMINAL DE RUPTURA I_{cn} (kA) según norma IEC 60898 230/400 VAC	CORRIENTE ULTIMA DE RUPTURA I_{cu} (kA) según norma IEC 60947-2 230 VAC
■ 2CDS251001R0024	S201-C2	2	6	10
■ 2CDS251001R0044	S201-C4	4	6	10
■ 2CDS251001R0064	S201-C6	6	6	10
■ 2CDS251001R0104	S201-C10	10	6	10
■ 2CDS251001R0164	S201-C16	16	6	10
■ 2CDS251001R0204	S201-C20	20	6	10
■ 2CDS251001R0254	S201-C25	25	6	10
■ 2CDS251001R0324	S201-C32	32	6	10
■ 2CDS251001R0404	S201-C40	40	6	10
■ 2CDS251001R0504	S201-C50	50	6	10
■ 2CDS251001R0634	S201-C63	63	6	10

■ Disponibles bajo pedido. (Consultar stock)

S200 BIPOLARES (Curva C, $I_m = 5$ a $10 I_n$)

CÓDIGO DE FÁBRICA	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO (2 POLOS, CURVA C)	CORRIENTE NOMINAL I_n (A)	CORRIENTE NOMINAL DE RUPTURA I_{cn} (kA) según norma IEC 60898 230/400 VAC	CORRIENTE ULTIMA DE RUPTURA I_{cu} (kA) según norma IEC 60947-2 230 VAC
2CDS252001R0024	S202-C2	2	6	20
2CDS252001R0044	S202-C4	4	6	20
2CDS252001R0064	S202-C6	6	6	20
2CDS252001R0104	S202-C10	10	6	20
2CDS252001R0164	S202-C16	16	6	20
2CDS252001R0204	S202-C20	20	6	20
2CDS252001R0254	S202-C25	25	6	20
2CDS252001R0324	S202-C32	32	6	20
2CDS252001R0404	S202-C40	40	6	20
2CDS252001R0504	S202-C50	50	6	20
2CDS252001R0634	S202-C63	63	6	20

Selección del interruptor termomagnético general de 20A

Protección del motor del ventilador

Figura 57

PROTECCIÓN DE MOTORES

Guardamotores Serie MS116 - MS132



Fuente: Catálogo de productos de baja tensión ABB



MS116-6.3



MS132-32.0

TIPO	MS116	MS132
Rango	0.1...16 A	0.1...32 A
Indicación	ON / OFF	ON / OFF / TRIP
Indicación disparo Magnético	NO	SI
Enclavamiento de manija sin accesorios	NO	SI
Clase de disparo	10A	10
Protección térmica	SI	SI
Protección Cortocircuito	SI	SI
Sensibilidad por pérdida de fase	SI	SI
Tensión de operación y aislamiento	690 Vac	690 Vac

Estándares: IEC/EN 60947-1, IEC/EN60947-4-1, IEC/EN 60947-5-1, UL508, CSA C22.2 N.14

GUARDAMOTOR : MANUAL MOTOR STARTER SERIE MS116

CÓDIGO DE FÁBRICA	TIPO	RANGO DE PROTECCIÓN (A)	I _{cu} (KA)	HP	
			a 400 V	220 V	440 V
1SAM250000R1005	MS116-1.0	0.63...1.0	50	0.25	0.50
1SAM250000R1006	MS116-1.6	1.0 ...1.6	50	0.30	0.75
1SAM250000R1007	MS116-2.5	1.6 ...2.5	50	0.50	1.50
1SAM250000R1008	MS116-4.0	2.5 ...4.0	50	1.00	2.00
1SAM250000R1009	MS116-6.3	4.0 ...6.3	50	2.00	4.00
1SAM250000R1010	MS116-10.0	6.3 ...10.0	50	3.00	5.50

GUARDAMOTOR : MANUAL MOTOR STARTER SERIE MS132

CÓDIGO DE FÁBRICA	TIPO	RANGO DE PROTECCIÓN (A)	I _{cu} (KA)	HP	
			a 400 V	220 V	440 V
1SAM350000R1010	MS132-10.0	6.3 ...10.0	100	3.00	5.5
1SAM350000R1012	MS132-12.0	8.0 ...12.0	100	4.00	7.5
1SAM350000R1011	MS132-16.0	10.0 ...16.0	100	5.00	10
1SAM350000R1013	MS132-20.0	16.0 ... 20.0	100	7.50	15
1SAM350000R1014	MS132-25.0	20.0 ...25.0	50	10.00	20
1SAM350000R1015	MS132-32.0	25.0 ...32.0	25	12.00	25


Selección del guardamotor

Figura 58

Fuente: Catálogo de productos de baja tensión ABB


CONTACTORES

Serie AF 09...AF38




La nueva **Generación de contactores AF**, tiene las siguientes características:


- **Operación:** hasta 690V, 25-400Hz, -40 a 70°C
- **Bobinas de amplio rango:** Ejm. 100-250Vac/dc, **tolerancia:** -15% a +10%
- La bobina puede ser energizada con **Tensión AC como en DC**
- **Accesorios para arranques:** Directos, reversibles, Estrella-triángulo y suave (soft starters).
- **Altitud de trabajo sin derrateo:** hasta 3000 msnm
- **Supresor de Picos de tensión incorporada** para toda la gama AF
- Ideal para aplicaciones con **amplias variaciones de tensión** de control
- Estandares: IEC/EN60947-1, IEC-EN60947-2, IEC-EN60947-4-1, UL508, CSA C22.2 N.14




AF09-30-10



AF16-30-10



AF26-30-00



CÓDIGO DE FABRICA	TIPO	CONT. AUX.		CORRIENTE [A]		UL/CSA	
		NA	NC	AC3	AC1	USO GENERAL [A] *	TAMAÑO NEMA
Bobina: 20-60 Vac, 50/60Hz / 24-60 Vdc							
1SBL137001R1101	AF09-30-01-11	0	1	9	25	25	00
1SBL137001R1110	AF09-30-10-11	1	0	9	25	25	00
1SBL157001R1101	AF12-30-01-11	0	1	12	28	28	0
1SBL157001R1110	AF12-30-10-11	1	0	12	28	28	0
1SBL177001R1101	AF16-30-01-11	0	1	18	30	30	-
1SBL177001R1110	AF16-30-10-11	1	0	18	30	30	-
1SBL237001R1100	AF26-30-00-11	0	0	26	45	45	1
1SBL277001R1100	AF30-30-00-11	0	0	32	50	50	-
1SBL297001R1100	AF38-30-00-11	0	0	38	50	50	-
1SBL237001P1101	AF26-30-01-11	0	1	26	45	45	1
1SBL277001P1101	AF30-30-01-11	0	1	32	50	50	-
1SBL297001P1101	AF38-30-01-11	0	1	38	50	50	-
1SBL237001P1110	AF26-30-10-11	1	0	26	45	45	1
1SBL277001P1110	AF30-30-10-11	1	0	32	50	50	-
1SBL297001P1110	AF38-30-10-11	1	0	38	50	50	-
Bobina: 100-250 Vac, 50/60Hz / Vdc							
1SBL137001R1301	AF09-30-01-13	0	1	9	25	25	00
1SBL137001R1310	AF09-30-10-13	1	0	9	25	25	00
1SBL157001R1301	AF12-30-01-13	0	1	12	28	28	0
1SBL157001R1310	AF12-30-10-13	1	0	12	28	28	0
1SBL177001R1301	AF16-30-01-13	0	1	18	30	30	-
1SBL177001R1310	AF16-30-10-13	1	0	18	30	30	-
1SBL237001R1300	AF26-30-00-13	0	0	26	45	45	1
1SBL277001R1300	AF30-30-00-13	0	0	32	50	50	-
1SBL297001R1300	AF38-30-00-13	0	0	38	50	50	-
1SBL237001P1301	AF26-30-01-13	0	1	26	45	45	1
1SBL277001P1301	AF30-30-01-13	0	1	32	50	50	-
1SBL297001P1301	AF38-30-01-13	0	1	38	50	50	-
1SBL237001P1310	AF26-30-10-13	1	0	26	45	45	1
1SBL277001P1310	AF30-30-10-13	1	0	32	50	50	-
1SBL297001P1310	AF38-30-10-13	1	0	38	50	50	-

Selección del contactor

Componentes mando y señalización

Figura 59

Fuente: Catálogo de productos de baja tensión ABB

MANDO Y SEÑALIZACIÓN

Línea Compacta

Pulsadores y Lámparas de 22 mm

CARACTERÍSTICAS

- Material Policarbonato, resistente a sustancias químicas
- Tensión de Aislamiento: 300 volt
- Grado de Protección IP66, IP67 y IP69K. UL/NEMA 1, 3R, 4, 4X, 12 y 13
- Corriente térmica: 5A

PULSADORES COMPACTOS

CÓDIGO DE FÁBRICA	TIPO	COLOR	CONTACTO AUXILIAR
Pulsadores Compactos Razante, con Bisel Plástico			
1SFA619100R1041	CP1-10R-01	ROJO	1 NC
1SFA619100R1012	CP1-10G-10	VERDE	1 NA
1SFA619100R1016	CP1-10B-10	NEGRO	1 NA
Pulsadores Compactos con Bisel Metálico			
1SFA619100R3041	CP1-30R-01	ROJO	1 NC
1SFA619100R3012	CP1-30G-10	VERDE	1 NA

PORTA LÁMPARAS COMPACTAS CON LED INCLUIDO

CÓDIGO DE FÁBRICA	TIPO	COLOR
Tensión de Alimentación: 230 Vac		
1SFA619402R5231	CL-523R	rojo
1SFA619402R5232	CL-523G	verde
1SFA619402R5233	CL-523Y	amarillo
Tensión de Alimentación: 110 - 130 Vac		
1SFA619402R5131	CL-513R	rojo
1SFA619402R5132	CL-513G	verde
1SFA619402R5133	CL-513Y	amarillo
Tensión de Alimentación: 110 - 130 Vdc		
1SFA619402R5151	CL-515R	rojo
1SFA619402R5152	CL-515G	verde
1SFA619402R5153	CL-515Y	amarillo
Tensión de Alimentación: 24 Vdc		
1SFA619402R5021	CL-502R	rojo
1SFA619402R5022	CL-502G	verde
1SFA619402R5023	CL-502Y	amarillo

PULSADOR COMPACTO PARADA DE EMERGENCIA DE 40 mm DE DIÁMETRO

CÓDIGO DE FÁBRICA	TIPO	COLOR	ACCIONAMIENTO	CONTACTO AUXILIAR
1SFA619550R1071	CE4T-10R-11	ROJO	Liberado por giro	1 NA+1 NC
1SFA619551R1071	CE4P-10R-11	ROJO	Liberado por desenganche	1 NA+1 NC

SELECTORES COMPACTOS MANETA CORTA

CÓDIGO DE FÁBRICA	TIPO	COLOR	CONTACTO AUXILIAR	POSICIONES
1SFA619201R1076	C2SS2-10B-11	Negro	1 NA + 1 NC	2
1SFA619210R1076	C3SS1-10B-11	Negro	1 NA + 1 NC	3

Selección de componentes de mando y señalización

Tablas de conductores eléctricos

Figura 60

TABLA DE DATOS TECNICOS GPT-3

SECCION	SECCION NOMINAL	Nº HILOS	DIÁMETRO HILO	ESPESOR AISLAMIENTO	DIÁMETRO PREVISTO	PESO PREVISTO	CAPACIDAD CORRIENTE
AWG	mm²		mm	mm	mm	Kg/Km	A
20	0.52	15	0.204	0.46	1.87	7	9
18	0.82	24	0.204	0.46	2.11	10	14
16	1.31	24	0.255	0.46	2.40	15	19
14	2.08	39	0.255	0.46	2.79	23	29
12	3.31	61	0.255	0.51	3.36	35	33
10	5.26	98	0.255	0.62	4.20	55	48
8	8.37	154	0.255	0.73	5.41	89	67

GPT-3

Usos

Conductor de cobre flexible de dimensiones reducidas para cableado en el interior de tableros donde hay poco espacio. Esto se logra por la calidad del aislamiento de PVC, cuya temperatura de operación es de 75°C y por sus excelentes propiedades dieléctricas que superan los ensayos eléctricos exigentes a que son sometidos.

TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (AWG / MCM)

CALIBRE CONDUCTOR	SECCION NOMINAL	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (°)	
								AIRE	DUCTO
AWG/MCM	mm²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
14	2.1	7	0.60	1.75	0.8	3.4	28	35	25
12	3.3	7	0.76	2.20	0.8	3.8	40	40	30
10	5.3	7	0.96	2.78	0.8	4.4	59	56	40
8	8.4	7	1.20	3.61	1.1	5.9	98	80	56
6	13.3	7	1.53	4.60	1.5	7.6	161	107	75
4	21.1	7	1.93	5.80	1.5	8.9	240	141	96
2	33.6	7	2.44	7.31	1.5	10.4	363	192	130
1/0	53.4	19	1.87	8.58	2	12.7	570	260	170
2/0	67.4	19	2.10	9.64	2	13.8	704	300	197
3/0	85.1	19	2.35	10.82	2	15	871	350	226
4/0	107.2	19	2.64	12.15	2.4	17.1	1109	406	260
250	126.7	37	2.06	13.25	2.4	18.2	1289	457	290
300	151.9	37	2.25	14.51	2.4	19.5	1527	505	321
350	177.5	37	2.44	15.69	2.4	20.6	1769	569	350
500	253.1	37	2.91	18.73	2.8	24.5	2512	699	429

THW-90

Usos

Aplicación general en instalaciones fijas, edificaciones, interior de locales con ambiente seco o húmedo, conexiones de tableros de control y en general en todas las instalaciones que requieran mayor capacidad de corriente al TW-80.

Características de selección de conductores eléctricos

Fuente: Catálogo de conductores eléctricos INDECO

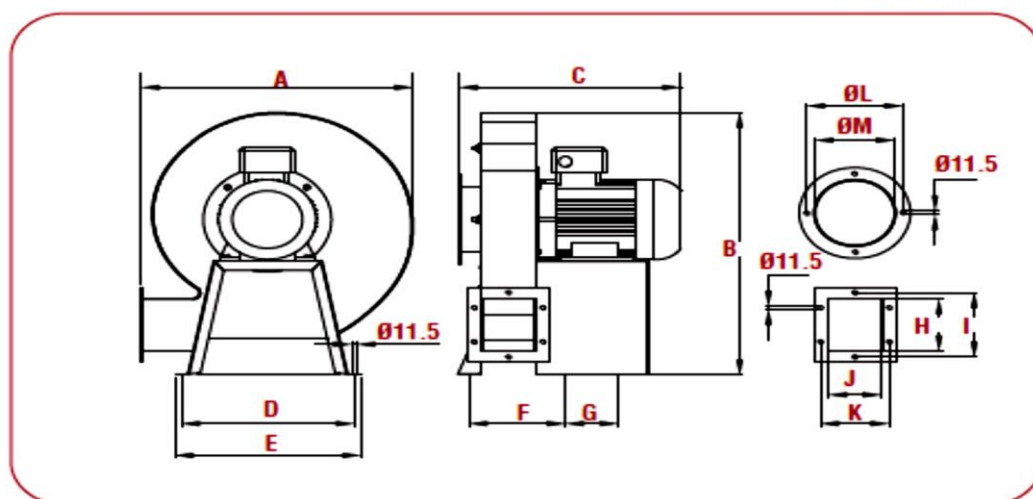
8.6. Anexos de características de selección de componentes mecánicos.

Figura 61

Modelo	Velocidad RPM	Potencia HP	Tensión Volts	Intensidad A	Caudal a desocarga litro m³/hr / CFM	Presión sonora dB(A)*	Peso aprox. Kg
CSB-400	3515	½	127/220	9.1/3.7	400/235	73	17
CST-400	3410	½	220/440	1.9/0.9	400/235	73	17
CSB-800	3500	¾	127/220	11.5/5.0	800/471	75	21
CST-800	3470	¾	220/440	2.5/1.25	800/471	75	21
CSB-1300	3510	1	127/220	10.9/5.40	1300/765	82	24
CST-1300	3460	1	220/440	3.0/1.5	1300/765	82	24
CST-2000	3495	1½	208-230/460	4.0/2.0	2,000/1,176	84	37
CST-2600	3480	3	208-230/460	7.4/3.7	2,600/1,529	86	41
CST-3500	3480	5	208-230/460	11.8/5.9	3,500/2,059	90	66

Modelo	A	B	C		D	E	F	G	H	I	J	K	ØL	ØM
			MF	TF										
CSB-T 400	359	414	317	313	230	230	112	90	70	102	60	91	147	112
CSB-T 800	426	496	344	336	257	287	140	91	106	139	81	115	153	123
CSB-T 1300	462	572	391	377	263	293	158	91	119	150	100	132	175	141
CSB-T 2000	538	630	-	451	311	341	195	116	126	162	120	154	190	156
CSB-T 2600	53	630	-	455	320	350	197	116	126	162	122	154	190	156
CSB-T 3500	8617	729	-	504	393	423	219	120	143	179	120	156	218	180

Dimensiones en mm.



Características técnicas de selección de ventilador centrifugo

Nota: este catálogo es referencial para selección del ventilador, ya que si bien es cierto se puede seleccionar cualquier otro tipo de ventilador inducido que cumpla con las características de diseño del deshidratador solar.

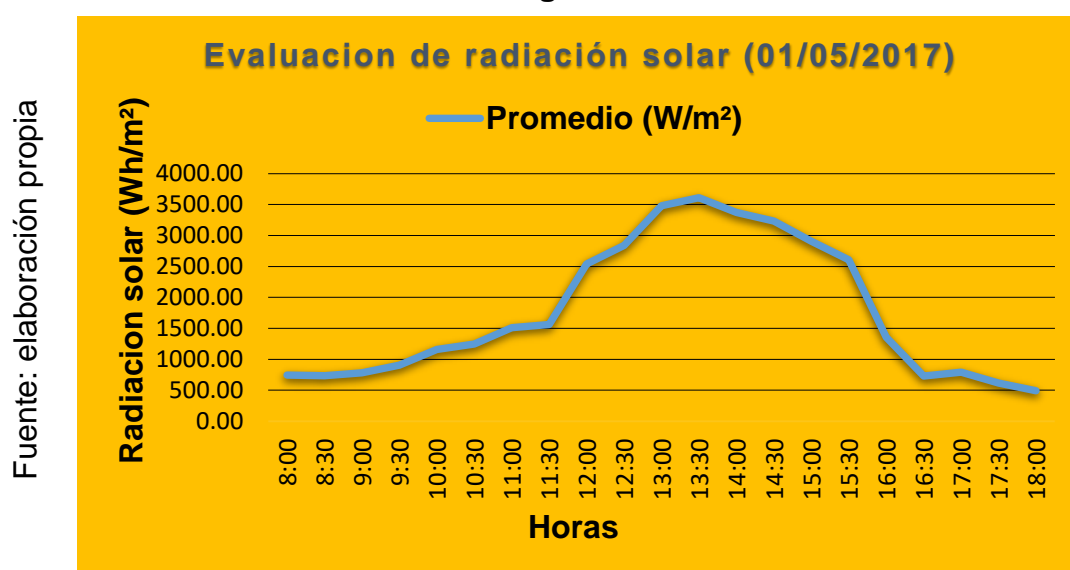
8.7. Anexos de tablas

Tabla 39

Radiación solar evaluada el día 01/05/2017

Horas	Toma 1 (W/m ²)	Toma 2 (W/m ²)	Toma 3 (W/m ²)	Promedio (W/m ²)
8:00	723	710	801	744.67
8:30	730	735	736	733.67
9:00	782	780	785	782.33
9:30	899	901	910	903.33
10:00	1150	1165	1160	1158.33
10:30	1250	1240	1245	1245.00
11:00	1458	1480	1600	1512.67
11:30	1505	1595	1584	1561.33
12:00	2450	2560	2610	2540.00
12:30	2800	2850	2870	2840.00
13:00	3500	3450	3489	3479.67
13:30	3607	3609	3610	3608.67
14:00	3372	3375	3376	3374.33
14:30	3230	3250	3220	3233.33
15:00	2902	2905	2907	2904.67
15:30	2605	2610	2601	2605.33
16:00	1356	1360	1352	1356.00
16:30	760	720	705	728.33
17:00	780	810	785	791.67
17:30	615	605	620	613.33
18:00	489	490	491	490.00

Figura 62

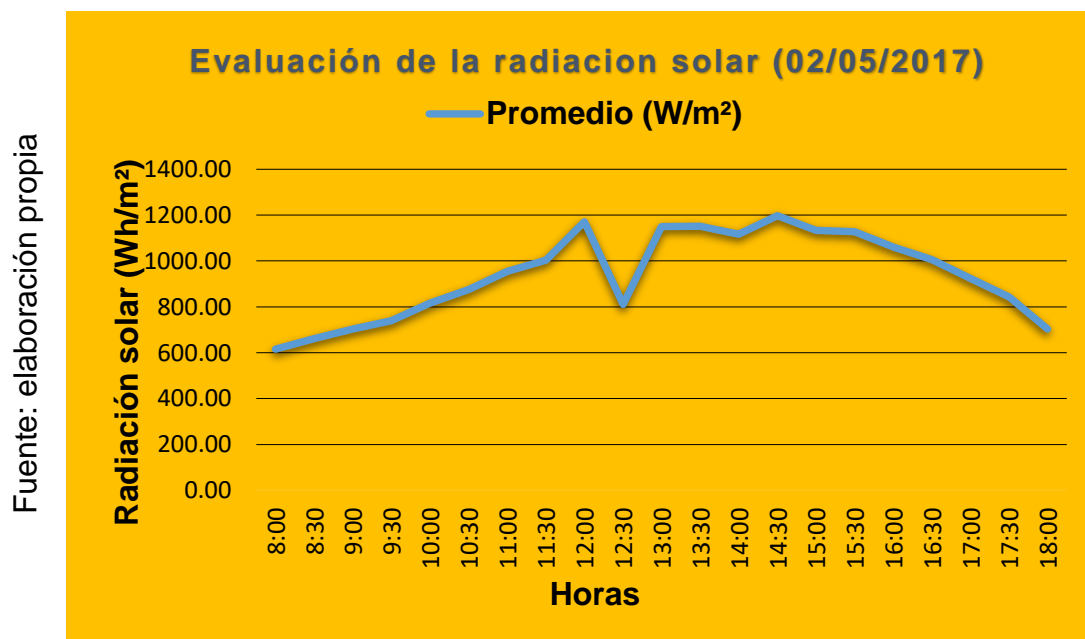


Evaluación de la radiación solar Aramango

Tabla 40

Radiación solar evaluada el día 02/05/2017

Horas	Toma 1 (W/m ²)	Toma 2 (W/m ²)	Toma 3 (W/m ²)	Promedio (W/m ²)
8:00	620	615	610	615.00
8:30	650	670	665	661.67
9:00	700	702	708	703.33
9:30	730	740	750	740.00
10:00	810	820	817	815.67
10:30	872	875	877	874.67
11:00	950	955	960	955.00
11:30	1001	1002	1005	1002.67
12:00	1168	1169	1175	1170.67
12:30	1158	115	1159	810.67
13:00	1146	1154	1150	1150.00
13:30	1150	1155	1148	1151.00
14:00	1127	1105	1118	1116.67
14:30	1197	1201	1193	1197.00
15:00	1058	1148	1193	1133.00
15:30	1120	1122	1140	1127.33
16:00	1033	1028	1118	1059.67
16:30	1001	1005	1010	1005.33
17:00	920	926	924	923.33
17:30	842	843	845	843.33
18:00	710	701	700	703.67

Figura 63

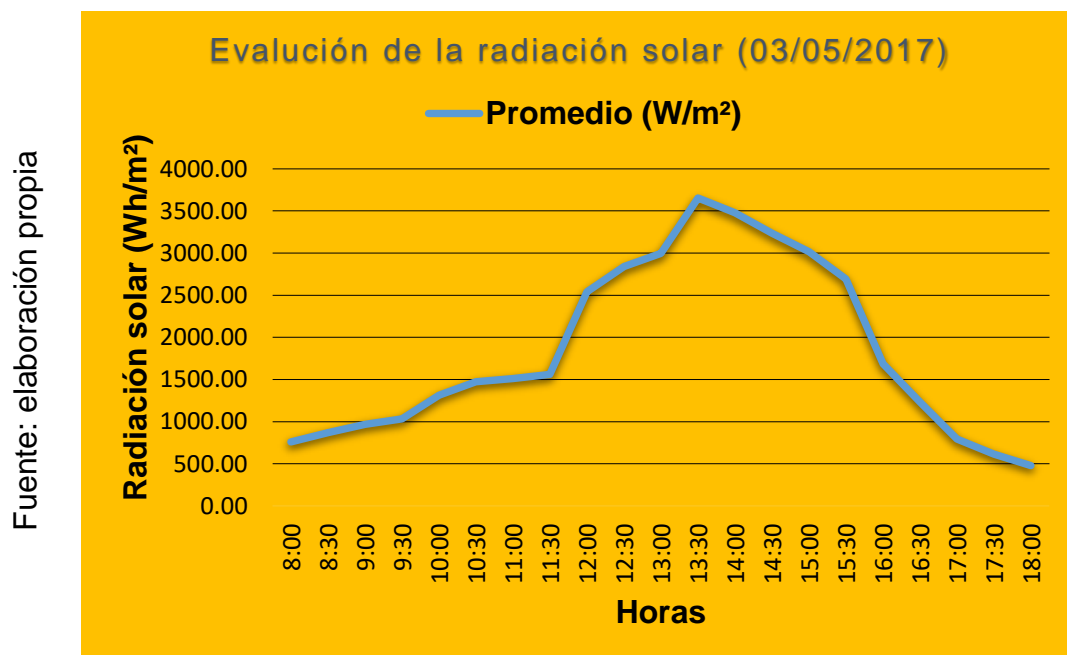
Evaluación de la radiación solar Aramango

Tabla 41

Radiación solar evaluada el día 03/05/2017

Horas	Toma 1 (W/m ²)	Toma 2 (W/m ²)	Toma 3 (W/m ²)	Promedio (W/m ²)
8:00	750	710	815	758.33
8:30	850	890	865	868.33
9:00	940	970	991	967.00
9:30	1100	1005	998	1034.33
10:00	1200	1356	1387	1314.33
10:30	1440	1500	1479	1473.00
11:00	1458	1480	1600	1512.67
11:30	1505	1595	1584	1561.33
12:00	2450	2560	2610	2540.00
12:30	2800	2850	2870	2840.00
13:00	2950	3010	3030	2996.67
13:30	3500	3610	3850	3653.33
14:00	3450	3486	3495	3477.00
14:30	3230	3250	3220	3233.33
15:00	3010	3015	3025	3016.67
15:30	2680	2710	2690	2693.33
16:00	1650	1710	1695	1685.00
16:30	1250	1210	1240	1233.33
17:00	780	810	785	791.67
17:30	615	605	620	613.33
18:00	505	485	450	480.00

Figura 64



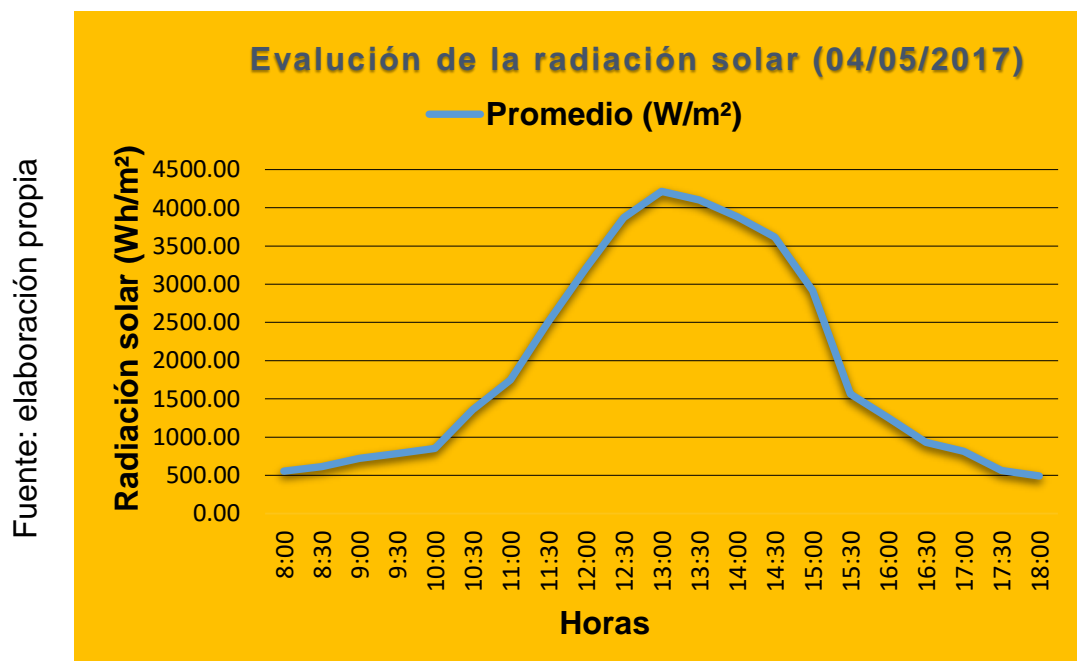
Evaluación de la radiación solar Aramango

Tabla 42

Radiación solar evaluada el día 04/05/2017

Horas	Toma 1 (W/m ²)	Toma 2 (W/m ²)	Toma 3 (W/m ²)	Promedio (W/m ²)
8:00	550	552	559	553.67
8:30	610	612	615	612.33
9:00	720	725	721	722.00
9:30	789	785	782	785.33
10:00	849	850	852	850.33
10:30	1356	1360	1357	1357.67
11:00	1746	1750	1748	1748.00
11:30	2504	2506	2507	2505.67
12:00	3205	3210	3209	3208.00
12:30	3870	3875	3871	3872.00
13:00	4210	4215	4218	4214.33
13:30	4100	4102	4105	4102.33
14:00	3885	3880	3881	3882.00
14:30	3610	3620	3615	3615.00
15:00	2910	2915	2920	2915.00
15:30	1560	1565	1562	1562.33
16:00	1250	1251	1255	1252.00
16:30	932	937	931	933.33
17:00	820	810	815	815.00
17:30	567	560	562	563.00
18:00	489	492	491	490.67

Figura 65



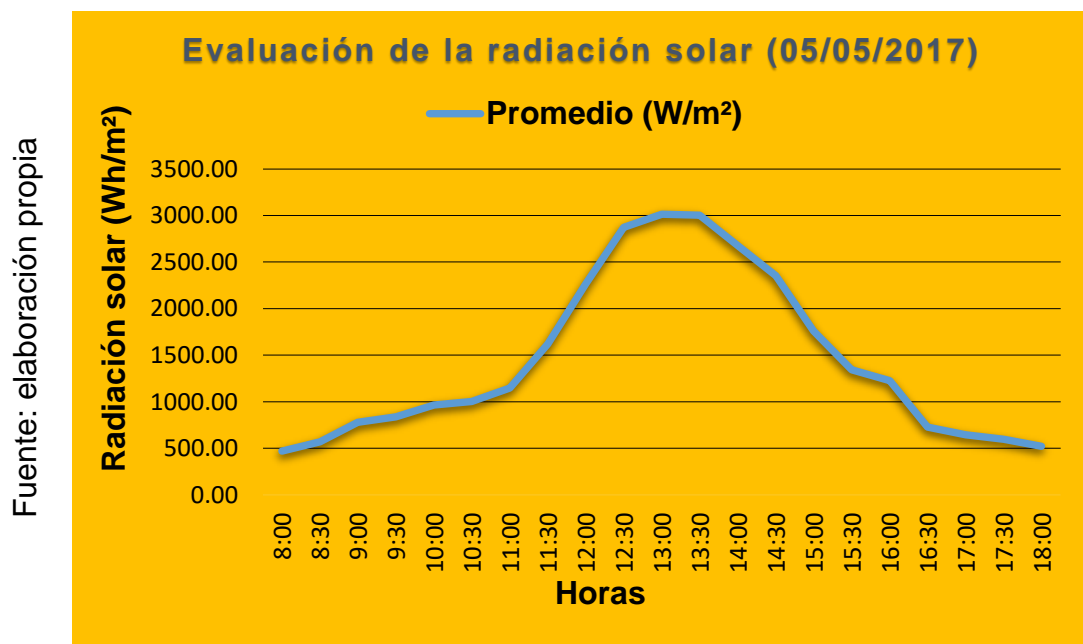
Evaluación de la radiación solar Aramango

Tabla 43

Radiación solar evaluada el día 05/05/2017

Horas	Toma 1 (W/m ²)	Toma 2 (W/m ²)	Toma 3 (W/m ²)	Promedio (W/m ²)
8:00	469	472	470	470.33
8:30	569	570	572	570.33
9:00	781	783	780	781.33
9:30	832	837	841	836.67
10:00	969	961	965	965.00
10:30	1005	1001	1000	1002.00
11:00	1149	1147	1142	1146.00
11:30	1480	1500	1884	1621.33
12:00	2260	2264	2268	2264.00
12:30	2870	2875	2876	2873.67
13:00	3010	3012	3015	3012.33
13:30	3005	3002	3001	3002.67
14:00	2678	2681	2675	2678.00
14:30	2354	2357	2351	2354.00
15:00	1769	1754	1760	1761.00
15:30	1347	1346	1340	1344.33
16:00	1231	1225	1229	1228.33
16:30	726	730	729	728.33
17:00	642	643	648	644.33
17:30	589	602	598	596.33
18:00	520	525	523	522.67

Figura 66



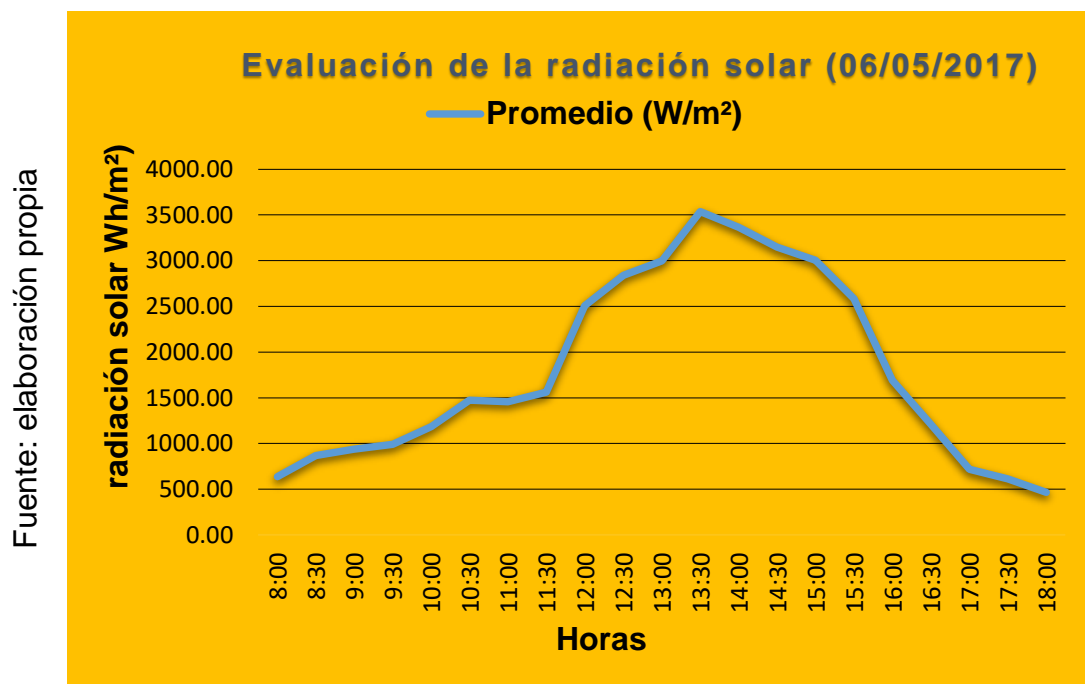
Evaluación de la radiación solar Aramango

Tabla 44

Radiación solar evaluada el día 06/05/2017

Horas	Toma 1 (W/m ²)	Toma 2 (W/m ²)	Toma 3 (W/m ²)	Promedio (W/m ²)
8:00	634	642	639	638.33
8:30	850	890	865	868.33
9:00	940	938	936	938.00
9:30	989	992	995	992.00
10:00	1186	1182	1182	1183.33
10:30	1440	1500	1479	1473.00
11:00	1458	1452	1455	1455.00
11:30	1505	1595	1584	1561.33
12:00	2501	2507	2508	2505.33
12:30	2800	2850	2870	2840.00
13:00	2950	3010	3030	2996.67
13:30	3500	3560	3550	3536.67
14:00	3361	3364	3367	3364.00
14:30	3146	3150	3147	3147.67
15:00	3001	3002	3005	3002.67
15:30	2589	2587	2581	2585.67
16:00	1687	1690	1701	1692.67
16:30	1210	1211	1209	1210.00
17:00	712	715	720	715.67
17:30	615	605	620	613.33
18:00	469	465	463	465.67

Figura 67



Evaluación de la radiación solar Aramango

Tabla 45

Evaluación de la temperatura en Aramango

Fecha	Temperatura promedio °C	Temperatura Bulbo Seco (°C)			Temperatura Bulbo Húmedo (°C)			velocidad del viento 13h (m/s)
		7	13	19	7	13	19	
01-Mar-17	27.2	21.2	29.8	26	20.8	25	23.5	2
02-Mar-17	27.1	21	28.2	25.5	21	25	23.2	4
03-Mar-17	25	21.5	24.5	23	21.2	23	22	3.2
04-Mar-17	26	20.5	29.8	23.8	20.5	24.5	22.2	2.4
05-Mar-17	26.8	21	23.8	22.8	20.8	22.8	22.2	1.8
06-Mar-17	24.15	20	27.5	24	19.5	24.8	22.5	3
07-Mar-17	25.95	20.4	28.8	25.5	20.2	25.8	23.4	2
08-Mar-17	26.3	22	32	25.8	21.8	25	22.8	2
09-Mar-17	24.6	21.5	27	24.5	21.2	23.5	22.2	2
10-Mar-17	26.75	21.5	31.5	25	21.4	25	22.8	1.2
11-Mar-17	25.1	22	30	23.5	21.5	24.2	22.5	17
12-Mar-17	27.25	21	29.5	25.6	20.8	25.8	23.5	2
13-Mar-17	27.2	21.5	30.5	24.5	21.2	26	23.5	27
14-Mar-17	25.9	21.6	29.8	25	21.2	24.5	23.5	2.9
15-Mar-17	27.15	21.5	31.4	25	21	25.5	23.8	2.8
16-Mar-17	27.65	21.4	32.8	28	21.2	25.8	24.8	3.4
17-Mar-17	26.35	22	32	25.8	21.8	26	24.2	2.9
18-Mar-17	27.35	22.5	29.5	25.2	21.5	25	22.8	2
19-Mar-17	25.85	21.6	30	25	21.2	24.8	22.8	1.7
20-Mar-17	26.9	21.8	30	26.4	21.5	25.5	22.8	1.7
21-Mar-17	23.75	22	23.8	23.4	21.8	21.8	22.6	2
22-Mar-17	29.85	20.5	25.8	24	20.2	23	23	2.4
23-Mar-17	25.6	21	29.5	25.2	21	24.2	23.4	3
24-Mar-17	27	21.5	29.5	25	21.2	25	23	2.4
25-Mar-17	26.85	20.8	32.8	26.8	20.5	24.5	23.2	1.1
26-Mar-17	26.25	21.8	29.2	25.2	21.5	23.8	24	2.3
27-Mar-17	27.3	22.2	26.2	24.5	22	24.2	23.2	3.1
28-Mar-17	27.2	21.6	30.5	26	21.5	25.3	23.2	3.1
29-Mar-17	26.65	20.4	32.5	24.8	20	26.5	22.6	1
30-Mar-17	27.55	22	32.4	26	21.5	25	23.8	1.4
31-Mar-17	28.8	22.5	29.8	25.5	25.5	25.6	24	2

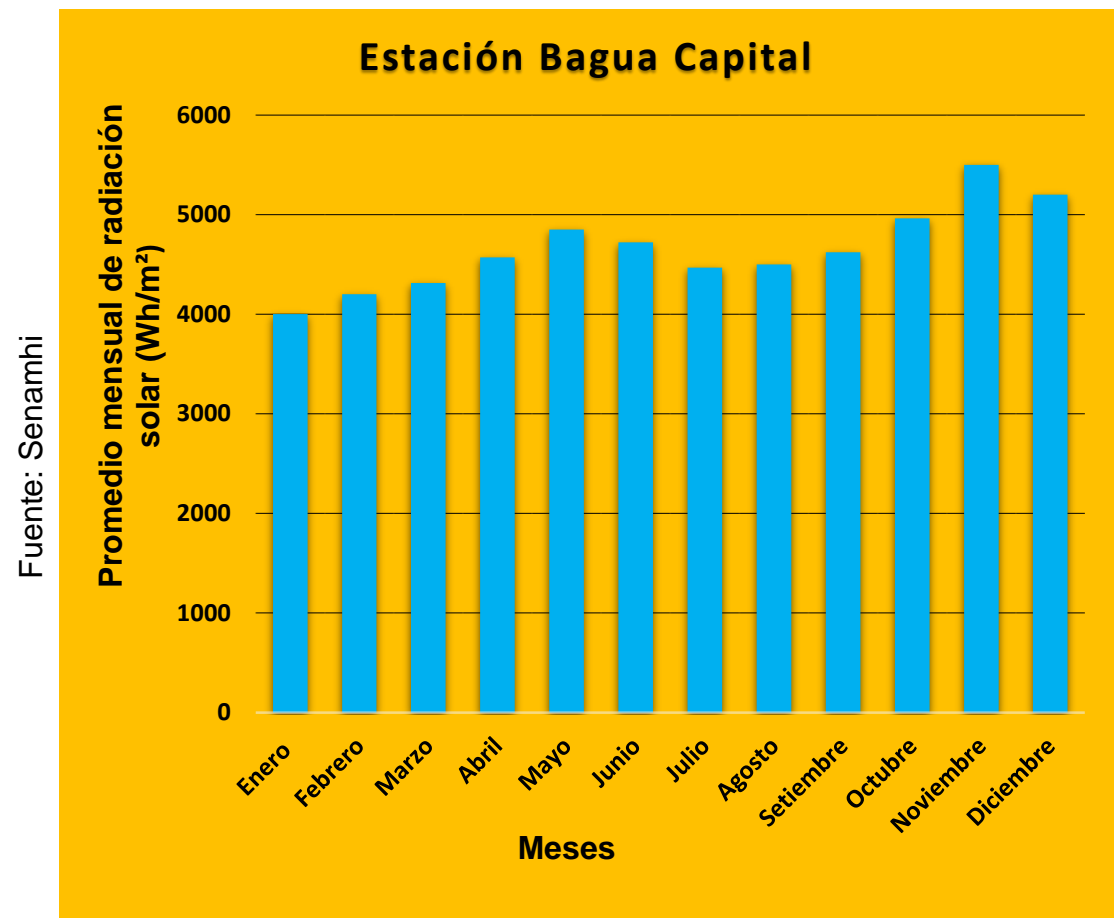
(Fuente Senamhi – Bagua - Amazonas)

Tabla 46

Evaluación mensual de la radiación solar en Aramango (Fuente: Senamhi)

Meses	Radiación solar
Enero	4000
Febrero	4200
Marzo	4312
Abril	4569
Mayo	4850
Junio	4720
Julio	4467
Agosto	4500
Setiembre	4623
Octubre	4963
Noviembre	5500
Diciembre	5200
Promedio	4659

Figura 68



Evaluación de la radiación solar estación Bagua

Tabla 47

Análisis de las horas de aprovechamiento de radiación solar en las diferentes estaciones del año

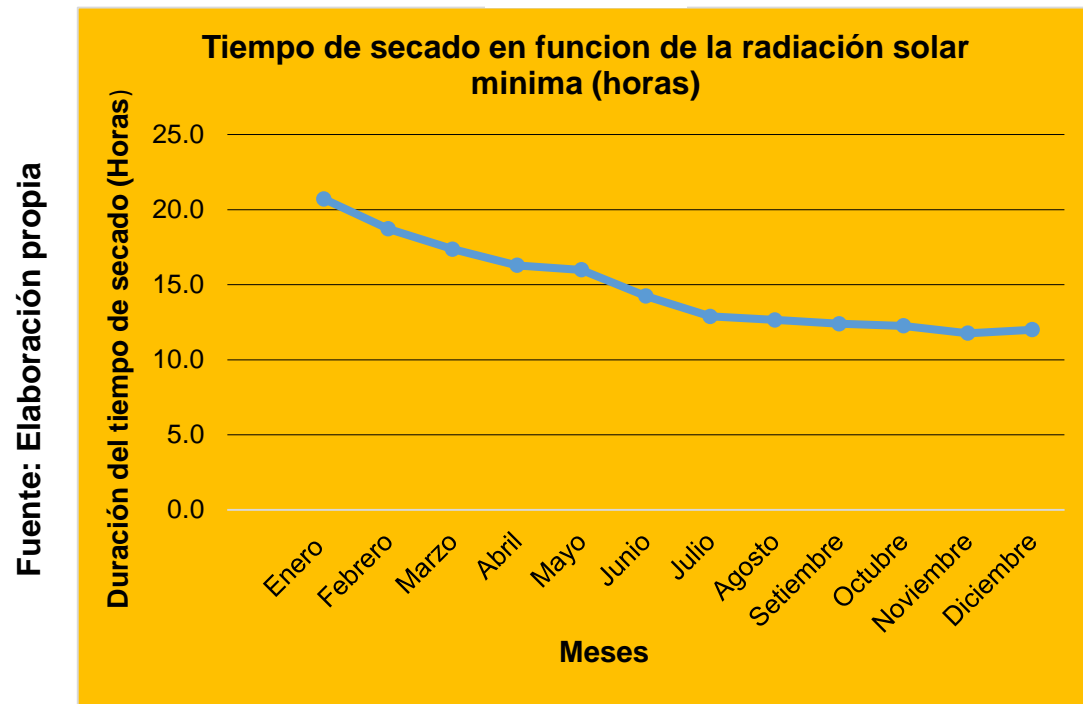
Mes	Para el Día promedio del mes		δ , declinación solar	Angulo horario de salida del sol (ω_s)	Número de horas de brillo solar	Radiación solar horaria (W/m^2)	Radiación solar mínima (W/m^2)
	fecha	n, Día del año					
Enero	17	17	-20.9	87.92°	11.72	1249.1	750
Febrero	16	47	-13.0	88.75°	11.83	1322.2	813
Marzo	16	75	-2.4	89.77°	11.97	1380.6	864
Abril	15	105	9.4	90.89°	12.12	1390.2	911
Mayo	15	135	18.8	91.85°	12.25	1355.8	925
Junio	11	162	23.1	92.32°	12.31	1327.8	1019
Julio	17	198	21.2	92.11°	12.28	1341.1	1110
Agosto	16	228	13.5	91.30°	12.17	1379.8	1127
Setiembre	15	258	2.2	90.21°	12.03	1391.4	1147
Octubre	15	288	-9.6	89.08°	11.88	1346.0	1159
Noviembre	14	318	-18.9	91.86°	12.25	1269.9	1200
Diciembre	10	344	-23.0	87.69°	11.69	1225.6	1180

Tabla 48

Análisis de horas de aprovechamiento de radiación solar en las diferentes estaciones del año

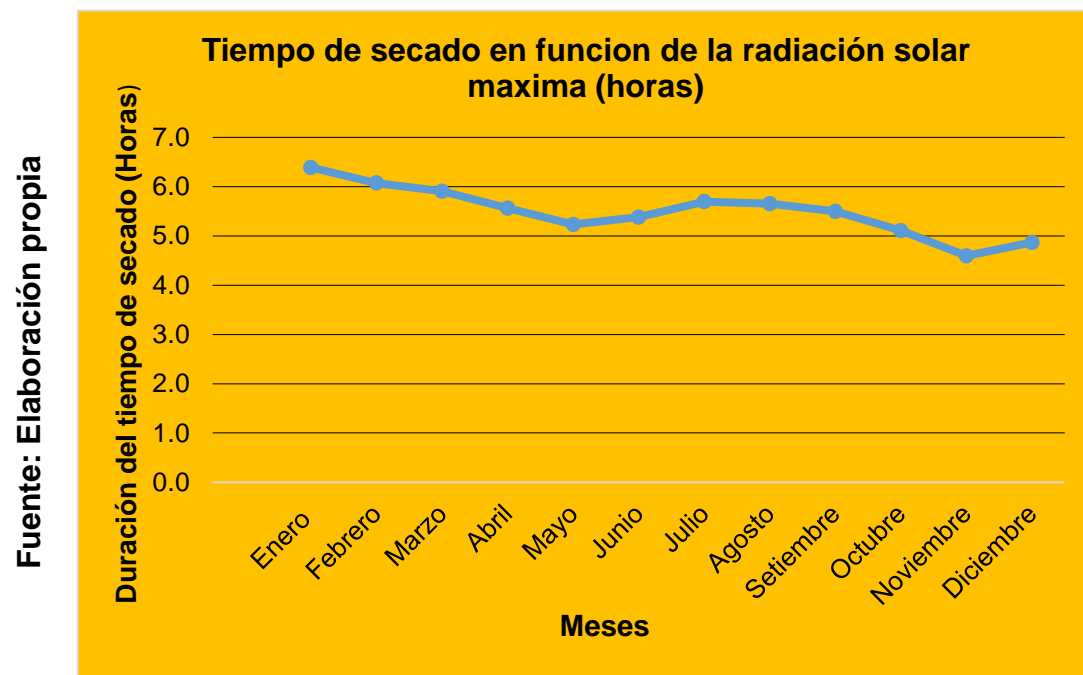
Radiación solar máxima (W/m²)	Calor útil mínimo, obtenido por cada colector solar (W)	Calor útil máximo, obtenido por cada colector solar (W)	Energía mínima ofertada por el banco de colectores solares (MJ)	Energía máxima ofertada por el banco de colectores solares (MJ)	Tiempo de secado en función de la radiación solar mínima (horas)	Tiempo de secado en función de la radiación solar máxima (horas)	Rendimiento del colector solar
4000	3413	22133	49.1	318.7	20.7	6.4	75.8%
4200	3776	23285	54.4	335.3	18.7	6.1	77.4%
4312	4069	23930	58.6	344.6	17.4	5.9	78.5%
4569	4340	25410	62.5	365.9	16.3	5.6	79.4%
4850	4421	27029	63.7	389.2	16.0	5.2	79.7%
4720	4962	26280	71.5	378.4	14.2	5.4	81.2%
4467	5486	24823	79.0	357.4	12.9	5.7	82.4%
4500	5584	25013	80.4	360.2	12.7	5.7	82.6%
4623	5700	25721	82.1	370.4	12.4	5.5	82.8%
4963	5769	27680	83.1	398.6	12.3	5.1	83.0%
5500	6005	30773	86.5	443.1	11.8	4.6	83.4%
5200	5890	29045	84.8	418.2	12.0	4.9	83.2%

Figura 69



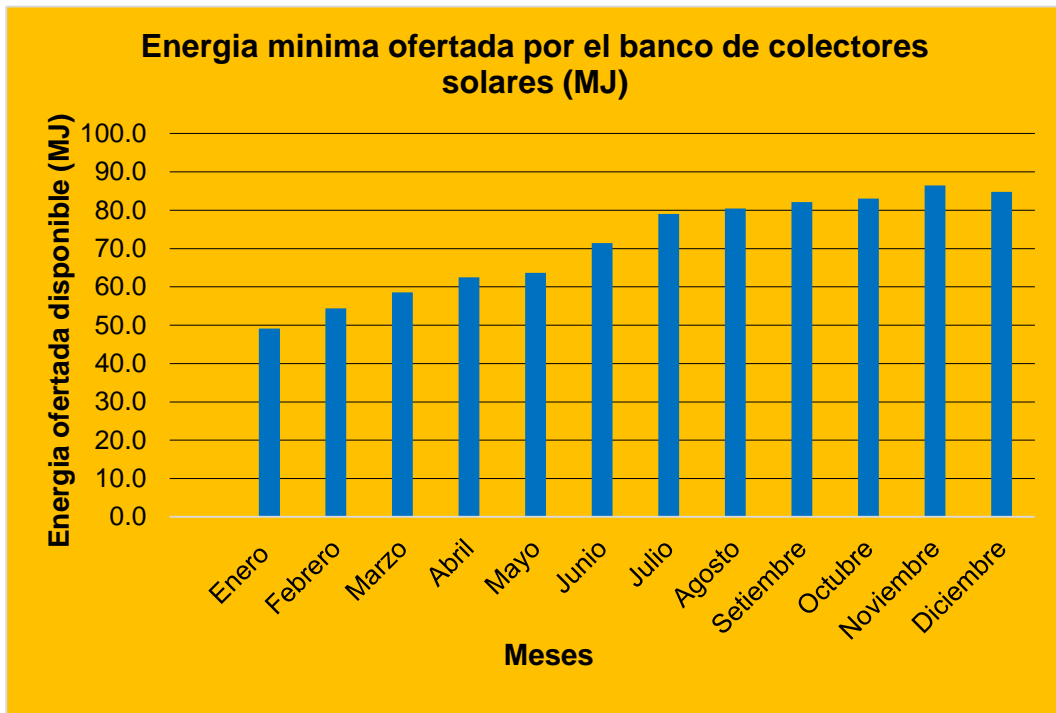
Tiempo de secado en función de la radiación solar mínima incidente sobre el colector solar

Figura 70



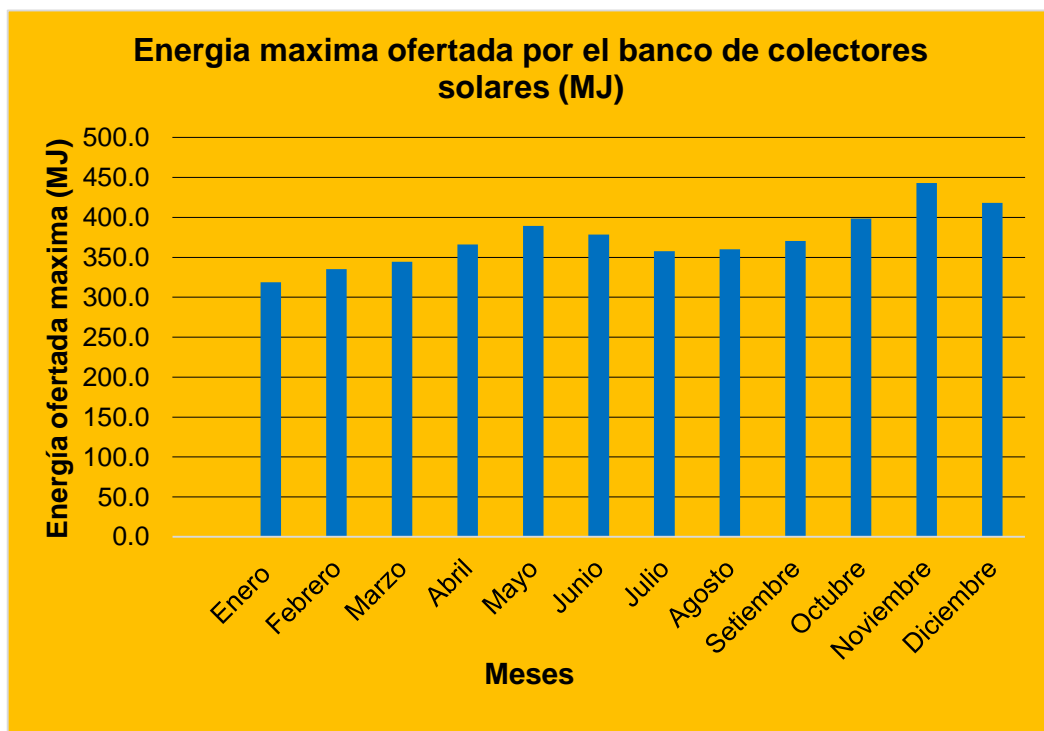
Tiempo de secado en función de la radiación solar máxima incidente sobre el colector solar

Figura 71



Energía mínima proporcionada por el banco de colectores solares

Figura 72



Energía máxima proporcionada por el banco de colectores solares

Tabla 49

Conductividad térmica de varios materiales

Material	λ W/(m·K)	Material	λ W/(m·K)
Acero	47 - 58	Hielo	2
Acero inoxidable	12 - 45	Hierro	80,2
Agua	0,58	Hormigón	1,7
Aire	0,025	Ladrillo	0,80
Alcohol	0,16	Ladrillo refractario	0,47 - 1,05
Alpaca	29,1	Latón	81 - 116
Aluminio puro	237	Litio	301,2
Amianto	0,04	Madera	0,04 - 0,4
Bronce	116 - 186	Mercurio	83,7
Caucho	0,16	Mica	0,35
Cemento Portland	0,29	Níquel	52,3
Cinc	106 - 140	Oro	318
Cobre	401	Parafina	0,21
Corcho	0,03 - 0,04	Piedra arenisca	2,4
Diamante	900 - 2300	Plata	429
Estaño	64,0	Plomo	35,0
Fibra de vidrio	0,03 - 0,07	Polipropileno	0,12
Glicerina	0,29	Tierra húmeda	0,8
Helio (superfluidez)	infinito	Vidrio	0,6 - 1,1

Fuente: Termodinámica Cengel

Tabla 48

Materiales aislantes comunes

Propiedades de materiales aislantes
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, L mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · °C	Calor específico, C_p kJ/kg · °C	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), °C · m ² /W
Vidrio celular		136	0.055	1.0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		64-144	0.036	0.96	—
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)		16	0.040	1.2	—
Poliuretano expandido (R -11 expandido)		24	0.023	1.6	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)		16	0.052	1.26	—
Caucho expandido (rígido)		72	0.032	1.68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		240	0.042	0.71	—
Corcho		120	0.039	1.80	—



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Cuestionario de encuestas aplicado a los productores de cacao del Distrito de Aramango - Amazonas

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Desarrollo de tesis

**“DISEÑO DE UN DESHIDRATADOR SOLAR PARA OPTIMIZAR EL
TIEMPO DE SECADO DE ALMENDRAS DE CACAO”**

ENCUESTA

Presentación del encuestador

Nombre del encuestador: _____ N° de encuesta: _____

Buenos días / tardes Sr. (o) (a):

Estoy haciendo una encuesta de valoración del secado de cacao de la zona, por favor me ayudaría mucho en brindarme su opinión a contestar el siguiente cuestionario ya que cierta información será de mucha importancia para el desarrollo de mi proyecto de investigación.

Perfil del encuestado

Nombres y apellidos del encuestado

_____ N° de encuestado: _____

Dirección:

Profesión / Ocupación:

Tiempo como productor de cacao
cacao

Edad: _____

Sexo: F ☐

M ☐

Cantidad de sembríos de

Fecha de encuesta: ____/____/____ Duración: _____


ALCIDES OSBERTO LIRARTE ESTELA
ING. MECANICO ELECTRICISTA
Reg. CIP. N° 155546

Cuestionario de preguntas

Marque con un aspa (X) o encierre con un círculo la respuesta que crea conveniente:

1) ¿Qué métodos emplea Ud. para el secado de cacao?

- a. Secado al sol en carpas
- b. Secado al sol en áreas cementadas
- c. Secado al sol en tarimas
- d. Secado al sol en tendales

2) ¿Cuál es el tiempo que tarda Ud. en secar los granos de cacao?

- a. De un día a dos días
- b. De tres a cuatro días
- c. De cinco a seis días
- d. De siete a ocho días

3) ¿Qué sucede cuando no se llega a realizar a tiempo el secado de cacao?

- a. El grano se llega a pungear.
- b. El grano cambia de color.
- c. El grano pierde sus propiedades químicas.
- d. Los granos se descomponen.
- e. Todas las anteriores.


ALCIDES AUSBERTO ZARATE ESTELA
ING. MECANICO ELECTRICISTA
Reg. CIP. N° 155546

4) ¿Utiliza algún tipo de maquinaria para el secado de cacao?

Sí ☐

No ☐

5) ¿Cuántas personas necesita para realizar el secado de cacao por quintales, utilizando el secado natural al sol?

- a. De una a dos personas.
- b. De tres a cuatro personas.
- c. De cinco a seis personas.
- d. De siete a ocho personas.

6) Tiene alguna capacitación tecnológica sobre el secado de cacao.

Sí ☐

No ☐

7) ¿Cuáles son las cualidades principales que exigen los comerciantes a la hora de la compra de los granos de cacao?

- a. Un buen secado
- b. Un buen color característico
- c. Buen sabor característico
- d. Buen olor característico
- e. Todas las anteriores


ALCIDES AUSBERTO LORA ESTELA
ING. MECANICO ELECTRICISTA
Reg. CIP. Nº 155546

8) ¿Si Ud. quisiera comprar una máquina para realizar el proceso de secado de cacao, en cuanto tiempo desearía que pudiera realizar el proceso de secado sin alterar sus características del mismo?

Muchísimas gracias por su amabilidad y por el tiempo dedicado a responder esta encuesta.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Guía de observación in situ de los procesos de secado de cacao.

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Desarrollo de tesis

**“DISEÑO DE UN DESHIDRATADOR SOLAR PARA OPTIMIZAR EL
TIEMPO DE SECADO DE ALMENDRAS DE CACAO”**

Diseño de un deshidratador solar para optimizar el tiempo de secado de almendras de cacao, en Amazonas, 2016.

Guía de observación de la radiación solar

Instrucciones:

Realizar las mediciones cuando el clima este soleado.

Realizar dos mediciones por cada hora hasta que la radiación disminuya notablemente.

Configurar el Solarímetro.

Día de observación	
Temperatura ambiente	
Estado del tiempo	
Tipo de zona de secado	
Cacao fermentado si/no	
Tipo de secado	

Hora	Intensidad de los rayos del sol (w/m^2)	Observación
08:00 pm		
08:30 pm		
09:30 am		
10:00 am		
10:30 am		
11:30 am		
12:00 pm		
12:30 pm		
01:00 pm		
01:30 pm		
02:00 pm		
02:30 pm		
03:00 pm		
03:30 pm		
04:00 pm		
04:30 pm		
05:00 pm		
05:30 pm		


 ALCIDES AUSBERTO ZABATE ESTELA
 ING. MECÁNICO ELECTRICISTA
 Reg. CIP. N° 155546

Diseño de un deshidratador solar para optimizar el tiempo de secado de almendras de cacao, en Amazonas, 2016.

Guía de observación de evaluación de las temperaturas

Instrucciones:

Realizar las mediciones de las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo


Realizar dos mediciones por cada hora.

Configurar el termómetro (medidor de temperatura).

Realizar las mediciones cuando el clima este soleado.

Día de observación	
Fecha de evaluación	
Estado del tiempo	
Tipo de zona de secado	
Cacao fermentado si/no	
Tipo de secado	

Hora	Temperatura de bulbo seco (°C)	Temperatura de bulbo húmedo (°C)	Observación
08:00 pm			
08:30 pm			
09:30 am			
10:00 am			
10:30 am			
11:30 am			
12:00 pm			
12:30 pm			
01:00 pm			
01:30 pm			
02:00 pm			
02:30 pm			
03:00 pm			
03:30 pm			
04:00 pm			
04:30 pm			
05:00 pm			
05:30 pm			


ALCIDES ROBERTO ZÚRATE ESTELA
 ING. MECANICO ELECTRICISTA
 Reg. CIP. N° 155546

Bergues-Ricardo, Ciro César; Bériz-Pérez, Luis; Grifán-Villafañe, Pedro
Secadores solares directos: Una experiencia para su extensión y generalización en la
zona oriental de Cuba

Tecnología Química, vol. XXXIII, núm. 1, enero-abril, 2013, pp. 27-33

Universidad de Oriente

Santiago de Cuba, Cuba

Secadores solares directos: Una experiencia para su extensión y generalización en la zona oriental de Cuba

Direct Solar Dryers: An Experience for Its Size and Widespread in Eastern C

MSc. Ciro César Bergues-Ricardo^I, cirob@ceefe.uo.edu.cu, MSc. Luis Bériz-Pérez^{II},
MSc. Pedro Grifán-Villafañe^{III}

^ICEEFE, Universidad de Oriente, Cuba; ^{II}CITMA, Cuba

Se analiza la experiencia que durante 17 años se tuvo en el secado solar en la región Oriental de Cuba mediante la descripción de los prototipos más representativos por sus índices técnicos económicos. Los secadores incluyen prototipos con cubierta de vidrio y de polietileno, con aplicaciones a secado multipropósito. Los productos secados son de alto valor social y económico como madera, semillas, plantas medicinales y pienso animal y además una aplicación atípica a la deshidratación de personas: La sauna solar cubana. Todos ellos responden a criterios de extensión y generalización. Se analiza el impacto energético y medioambiental de los mismos. El análisis secuencial de los prototipos y los cambios tecnológicos se facilita con un método numérico ingenieril novedoso, el cual es caracterizado brevemente. Se hacen recomendaciones sobre la conducta a seguir en el futuro inmediato a fin de lograr mejores resultados en el desarrollo de secadores.

Palabras clave: secado solar, energía renovable.

Introducción

El secado solar es una rama altamente rentable de la explotación de las fuentes renovables de energía, caracterizada por su alto potencial energético, económico, social y ecológico, contribuyendo a la conservación del medio ambiente al evitar emisiones equivalentes de CO₂ y óxidos de nitrógeno y azufre, pues sustituye al consumo de electricidad y de combustibles fósiles.

En nuestro país han sido instalados diversos tipos de secadores solares, algunos de los cuales, los instalados en la zona oriental de Cuba, son descritos en este trabajo. Mediante un método gráfico y numérico sistémico ingenieril algunos de

cuyos aspectos gráficos se muestran, este sistema de secadores ha sido estudiado y sistematizado con el fin de obtener secadores solares viables, que han sido diseñados y construidos.

En particular, la ONG cubana Cubasolar, el Centro de Investigaciones de Energía Solar, (CITMA) y el Centro de Eficiencia Energética (CITMA y MES) han sido las instituciones que en la parte oriental de Cuba se han ocupado mayoritariamente del desarrollo e introducción de aplicaciones del secado solar en las últimas dos décadas /2-5/.

En este trabajo se describen algunas soluciones tecnológicas dadas en Cuba al problema de secado solar de productos de gran importancia social, así



SECAFÉ Parte I: Modelamiento y simulación matemática en el secado mecánico de café pergamino

Alfonso Parra-Coronado¹, Gonzalo Roa-Mejía² & Carlos E. Oliveros-Tascón²

RESUMEN

Se implementó en lenguaje de programación Microsoft Visual Basic 6.0, dos programas de simulación matemática para el secado de café pergamino, tomando como base los modelos de Thompson y de la Universidad del Estado de Michigan (MSU), para lo cual se utilizaron los parámetros determinados en Cenicafé para la simulación matemática del secado de café pergamino. Los programas estiman el funcionamiento de cada uno de los secadores mecánicos de café existentes en Colombia. Se compararon los resultados obtenidos mediante simulación para cada uno de los secadores, con los resultados experimentales obtenidos en Cenicafé, concluyéndose que éstos predicen adecuadamente el secado del café pergamino. Con base en los buenos resultados de la evaluación de los programas, se implementó un único programa de simulación para el secado de café pergamino.

Palabras claves: secadores mecánicos, modelo de Thompson, modelo MSU

SECAFÉ Part I: Modeling and mathematical simulation in the mechanical drying of parchment coffee

ABSTRACT

A Microsoft Visual Basic 6.0 parchment coffee drying program was implemented. Two separate programs, based on the Thompson and Michigan State University (MSU) models, using Cenicafé coffee parameters, were successfully tested for the evaluation of the performance of all mechanical coffee dryers existing in Colombia. The results obtained by means of simulation for each one of the dryers were compared with the experimental results obtained in Cenicafé, resulting in the conclusion that these suitably predict the drying of the coffee parchment. Based on the good results obtained, a unique simulation program was implemented for drying parchment coffee.

Key words: mechanical dryers, Thompson's model, MSU model

¹ Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Dpto. de Ingeniería Civil y Agrícola, Bogotá D. C., Colombia. Fone: (571) 316-5430. Fax: (571) 316-5462. E-mail: aparrac@unal.edu.co

² Ingeniería Agrícola, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, Chinchiná, Caldas, Colombia. Fone: (576) 850-6550. E-mail: gonzalo.roa@cafedecolombia.com, carlos.oliveros@cafedecolombia.com

ANÁLISIS DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE CACAO PARA LA DISMINUCIÓN DEL TIEMPO DE SECADO

HÉCTOR A. TINOCO*
DIANA YOMALI OSPINA**

RESUMEN

El cacao es uno de los productos que demanda el mercado agrícola internacional; algunas compañías han invertido desde sus inicios en investigación y desarrollo, con el fin de obtener nuevos productos. Algunos factores incrementan los costos en los productos derivados del cacao, lo que puede ser atribuido a condiciones del mercado (oferta y demanda), procesos de transformación del cacao, procesos y procedimientos agrícolas, entre otros. Este estudio se enfoca en un proceso de transformación industrial que habitualmente es una etapa final de una serie de operaciones para conseguir granos secos de cacao. Determinadas variables como el tiempo, temperatura y humedad establecen la efectividad del secado de cacao. Esta investigación sugiere la posibilidad de disminuir el tiempo de secado industrial sin afectar las propiedades organolépticas, modificando la humedad y la temperatura. Para esta propuesta se realizaron pruebas de secado experimental y análisis computacional utilizando el método de elementos finitos para estudiar el proceso de secado.

PALABRAS CLAVE: *Theobroma cacao*; secado; deshidratación; elementos finitos.

ANALYSIS OF THE COCOA DEHYDRATION PROCESS FOR REDUCING DRYING TIME

ABSTRACT

Cocoa is one of the products demanded by the international agricultural market; some multinational companies have invested from its beginnings in research and development, in order to obtain new products. Some factors increase the costs in cocoa-based products, which can be attributed to market conditions (supply

* Ingeniero Mecánico. MSc. en Ingeniería Mecánica, Universidad Estatal de Campinas. Profesor e integrante del Grupo de Investigación en Diseño Mecánico y Desarrollo Industrial "Archytas", Departamento de Mecánica y Producción, Universidad Autónoma de Manizales. Manizales, Colombia. htinoco@autonoma.edu.co

** Ingeniera de Alimentos, Universidad de Caldas; MSc. en Ingeniería de Producción, Universidad Federal de Pernambuco. Profesora e integrante del Grupo de Investigación en Diseño Mecánico y Desarrollo Industrial "Archytas", Departamento de Mecánica y Producción, Universidad Autónoma de Manizales. Manizales, Colombia. yomali21@gmail.com; dianaospina@autonoma.edu.co